Instituto Tecnológico GeoMinero de España

ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LAS ARCILLAS DEL NEOGENO DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR.

Marzo, 1.990

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

11237

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO

DE ESPAÑA

Estudio para el Aprovechamiento Industrial de las Arcillas del Neógeno de la Depresión del Guadalquivir

MARZO, 1.990

Este Proyecto ha sido adjudicado a INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y MINERAS, S.A. (INGEMISA), mediante concurso público de fecha 25 de Octubre de 1.988, por el INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE).

La realización del mismo ha corrido a cargo de la citada Empresa, bajo la dirección y supervisión de D. GREGORIO GOMEZ MORENO, Jefe de la Sección de Rocas y Minerales Industriales.

El Proyecto en sí consta de una Memoria explicativa de la investigación realizada y un anexo con la analítica de las muestras recolectadas. También hay un tomo donde figura cada muestra en su ficha correspondiente, según el manual de metodología para la confección de los mapas de Minerales y Rocas Industriales a escala 1:200.000 (ITGE, 1.989). Además, hay otro tomo donde se recogen todos y cada uno de los difractogramas de R-X realizados. Al mismo tiempo existe un informe fotográfico donde se recogen los aspectos visuales más característicos de las sustancias estudiadas.

INDICE

Pag.

1. INTRODUCCION 1

1.1 EQUIPO DE TRABAJO 3

1.2 PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACION .. 4

1.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACION Y CAMBIOS PRODUCIDOS RESPECTO AL PLANTEAMIENTO INICIAL .. 8

2. ESTUDIO GEOLOGICO DE LOS DEPOSITOS TERCIARIOS DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR Y SU APLICACION A LA PROSPECCION DE ROCAS DE INTERES INDUSTRIAL 15

2.1 MARCO GEOLOGICO DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR 17

2.2 EVOLUCION TECTOSEDIMENTARIA 19

2.3 DESCRIPCION DE UNIDADES GEOLOGICAS Y SUSTANCIAS ASOCIADAS 21

2.3.1 Unidades Alóctonas 22

2.3.1.1 Unidad Olistostrómica 22

2.3.1.2 Unidad de Castro del Río 25

2.3.2 Unidades Autóctonas 31

2.3.2.1 Unidad de edad Tortoniense ... 31

2.3.2.2 Unidad de edad Messiniense ... 36

2.3.2.3 Unidad de edad Messiniense superior-Plioceno Inferior 51

2.3.2.4 Unidad de edad Plioceno 58

Pag.

2.3.2.5 Unidad de edad Plioceno Superior 62

2.3.2.6 Unidad de edad Villafranquiense (Plio-Cuaternario) 66

2.3.2.7 Unidades cuaternarias 67

3. SUSTANCIAS DE INTERES INDUSTRIAL INVESTIGADAS .. 68

3.1 ARCILLAS CERAMICAS 70

3.1.1 Antecedentes 70

3.1.2 Metodología del estudio 72

3.1.3 Características generales y analítica. 74

3.1.4 Valoración de las arcillas cerámicas y estudio del sector industrial 81

3.2 ARENAS SILICEAS 97

3.2.1 Datos previos 98

3.2.2 Metodología de estudio 101

3.2.3 Características generales y analítica. 102

3.2.4 Valoración de las arenas silíceas y su estudio en la Provincia de Cádiz 105

3.3 DIATOMITAS 114

3.3.1 Datos previos 115

3.3.2 Metodología de estudio 120

3.3.3 Características generales y analítica 123

3.3.4 Valoración de las diatomitas 128

3.4 ARCILLAS ESPECIALES 131

3.4.1 Datos previos 133

Pag.

3.4.2 Metodología de estudio 135

3.4.3 Características generales y analítica. 138

3.4.3.1 Cuenca lacustre de la "Laguna de los Tollos" (El Cuervo) .. 139

3.4.3.2 Otras cuencas lacustres 142

3.4.4 Valoración de las arcillas especiales 161

4. CONCLUSIONES 164

4.1 CONCLUSIONES GEOLOGICAS 166

4.2 CONCLUSIONES MINERO-INDUSTRIALES 167

4.2.1 Conclusiones sobre arcillas cerámicas 167

4.2.2 Conclusiones sobre arenas silíceas .. 168

4.2.3 Conclusiones sobre diatomitas 169

4.2.4 Conclusiones sobre arcillas especiales 170

5. RECOMENDACIONES 172

6. BIBLIOGRAFIA 175

PLANOS: nº 1 SINTESIS GEOLOGICA A E.1:200.000 DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR.

nº 2 AREAS FAVORABLES PARA LA ACUMULACION DE LAS SUSTANCIAS ESTUDIADAS.

1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

El objetivo básico de este Proyecto era la prospección e inventario de rocas industriales que están enmarcadas dentro del Neógeno y Cuaternario de la Depresión del Guadalquivir.

De los antecedentes que existen sobre este tipo de rocas industriales caben destacar las arcillas ricas en sepiolita y paligorskita, las arcillas cerámicas, las diatomitas y las arenas silíceas. Estos materiales son la base del estudio realizado y que confecciona esta memoria.

1.1 EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo ha estado formado por cuatro técnicos de INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y MINERAS, S.A. (INGEMISA), y son los siguientes:

F.J. ROLDAN GARCIA, especialista en análisis de cuencas terciarias, ha intervenido como responsable integral del Proyecto y ha participado con dedicación exclusiva en todas las facetas del Proyecto, desde los trabajos de campo a la elaboración de esta memoria.

A. JORQUERA DE GUINDOS ha participado con dedicación exclusiva en la investigación geológica realizada y en el estudio de todas y cada una de las sustancias antes mencionadas.

E. LUPIANI MORENO y M. VILLALOBOS MEGIA, han participado con dedicación parcial, como autores de varias hojas geológicas a E.1:50.000 de la Depresión del Guadalquivir, en la confección de la síntesis geológica y de sustancias que comportan el Proyecto.

Además se ha contado con la colaboración de E. SEBASTIAN PARDO, Doctor en Ciencias Geológicas del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad de Granada,

para la realización de la analítica por medio de difracción de Rayos X.

Los estudios micropaleontológicos se han realizado en el Departamento de Paleontología y Estratigrafía de la Universidad de Granada, dirigido por J. MARTINEZ GALLEGO.

Los análisis químicos y ensayos se han llevado a cabo en el laboratorio de GEOLAB y han sido dirigidos por F. LOPEZ MESONES.

1.2 PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACION

El objetivo principal del Proyecto consistía en estudiar y delimitar lo mejor posible, las áreas que tuvieran sustancias de interés industrial y caracterizarlas analíticamente. Todo ello en los sedimentos neógenos y cuaternarios, distribuidos desde las costas de Cádiz hasta las estribaciones occidentales de la Sierra de Cazorla. En suma este área constituye lo que comúnmente se ha denominado Valle o Depresión del Guadalquivir.

Este estudio se justificaba por el gran interés geológico-minero y socioeconómico existente, y todo ello en base a los siguientes aspectos:

- Existencia en la Depresión del Guadalquivir de abundantes explotaciones de arcillas cerámicas (principalmente ladrilleras). Los centros de mayor producción son: Bailén (Jaén) y la Provincia de Sevilla (Puebla de Cazalla).

- Importante explotación de arcillas especiales de tipo sepiolita-attapulgita en una mina a cielo abierto ubicada en El Cuervo. El producto es trasladado a una planta de tratamiento ubicada en Lebrija. Ambas localidades situadas al Sur de la Provincia de Sevilla, muy próximas a la de Cádiz.

- Explotación y tratamiento de arenas silíceas para moldeo y fabricación de vidrio en las proximidades de Arcos de la Frontera (Cádiz).

- Evidencia de indicios de diatomitas en diversos puntos de la Depresión del Guadalquivir, sin una delimitación adecuada de afloramientos y sin una adscripción concreta a las unidades geológicas aflorantes.

- Todas estas sustancias se distribuyen en amplios afloramientos sin apenas delimitación a lo largo de una región industrialmente deprimida y con fuertes problemas de carácter socioeconómico.

De acuerdo con el Pliego de condiciones técnicas del Proyecto, se marcaban varias fases para el correcto desarrollo del mismo y que a continuación se exponen.

En primer lugar habría que proceder a recopilar todos los trabajos a los que se tuviera acceso y de estrecha relación con la investigación del Proyecto (tesis doctorales, tesinas de licenciatura, hojas del Plan Magna y todas aquellas publicaciones científicas o técnicas referidas a la minería de rocas industriales aquí tratadas).

A partir de las cartografías existentes del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a E.1:50.000, elaborar una síntesis geológica a E.1:200.000, que en la primera fase del Proyecto constituyera la base de trabajo. En este sentido se han separado unidades geológicas que eran susceptibles de contener: arcillas cerámicas, arcillas especiales, diatomitas y arenas silíceas, bien conjuntamente o por separado.

Durante esta fase se ha hecho hincapié en aquellas zonas con clara viabilidad minero-industrial y se han recopilado muestras para análisis en estas áreas y otras similares sin industrias, para poder contrastar resultados de la analítica. De esta forma se valorarían

adecuadamente los productos que actualmente se introducen en el mercado, con aquellos otros de características similares y que en la actualidad no están explotados.

La analítica a aplicar en una primera fase a cada sustancia (muestra), se resume de la siguiente manera:

- Arcillas especiales (sepiolita-attapulgita). Análisis mineralógicos por difracción de Rayos X (R-X).
- Arcillas cerámicas. Cálculo del índice de plasticidad.
- Diatomitas. Análisis químicos, (cálculo de SiO_2).
- Arenas silíceas. Análisis químicos (cálculo de SiO_2, Al_2O_3, Cr_2O_3, Fe_2O_3).
- Láminas o levigados a todas aquellas que requieran una caracterización micropaleontológica.

Los análisis granulométricos, porosidad y contenido en carbonatos son determinaciones a realizar una vez conocida la analítica anterior y cuya finalidad es precisar sobre las características industriales de las sustancias. Al mismo tiempo se contemplaba la

realización de varios ensayos tecnológicos sobre arcillas cerámicas, para conocer el comportamiento de las mismas de cara a una explotación industrial de consideración.

Según las directrices que marca el Proyecto, sobre las áreas seleccionadas como más interesantes se llevaría a cabo una investigación geológico-minera de detalle, basada en la realización de cartografías geológicas de diferentes escalas, según las necesidades, desmuestres y analíticas de caracterización consecuentes.

Como conclusión de los estudios anteriores se llegaría a la delimitación de áreas con posibilidades de ser explotadas en las diferentes sustancias citadas. Al mismo tiempo se haría una valoración de las sustancias y su posible introducción en el mercado, de cara a establecer la viabilidad económica y la repercusión social de las posibles explotaciones.

1.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACION Y CAMBIOS PRODUCIDOS RESPECTO AL PLANTEAMIENTO INICIAL

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, durante la fase preliminar del Proyecto pocas variaciones se han producido respecto a las directrices

previamente establecidas. En este sentido cabe destacar la síntesis geológico-minera realizada, con apoyo de las cartografías existentes a E.1:50.000 y E.1:200.000. Dicha síntesis tenía una base geológica por unidades litoestratigráficas y en ella se recogían las sustancias de interés industrial que podrían aparecer en el seno de estas unidades.

Cuando se efectuaron los recorridos de campo para revisar y confeccionar la cartografía definitiva por sustancias de interés industrial, se comprobó la existencia de las mismas a todo lo largo y ancho de la Depresión del Guadalquivir. Por tanto se consideró que la extensión prevista por el Proyecto, unos 13.000 km^2 era a todas luces insuficiente para llegar a tener un conocimiento global de la distribución de rocas o minerales de interés industrial.

Por esta razón y de acuerdo con el Supervisor del Proyecto, se consideró que dicha Depresión debía ser tratada en todo su conjunto, desde un punto de vista de cartografía global. De aquí que se hayan realizado (hojas de Andújar, Arcos de la Frontera y Cazorla, no publicadas), revisado y sintetizado el Terciario y Cuaternario de 55 hojas geológicas que cubren toda la Depresión del Guadalquivir. Esto ha supuesto una ampliación cartográfica a más de 26.000 km^2, que ha

quedado registrada en un plano geológico-minero a E.1:200.000.

Dada la escasez de afloramientos naturales, en el área de estudio, la suave topografía existente y la abundancia de cultivos, se consideró más interesante no elaborar cartografía de detalle en beneficio de hacer la cartografía de toda la Cuenca, que daría una visión más completa de la adscripción de las sustancias a unidades o formaciones geológicas determinadas.

La síntesis geológica elaborada ha permitido poner de manifiesto áreas con un potencial interesante en cuanto a la aparición y desarrollo de ciertas sustancias, descartar áreas con escasos o nulos recursos de las sustancias subdichas, así como evaluar el potencial minero industrial en zonas de acusada explotación (arenas silíceas en Arcos de la Frontera y arcillas cerámicas en Bailén, por ejemplo).

Durante la realización del Proyecto, através de las industrias existentes, se ha podido conocer el mercado de producción de las distintas sustancias, las aplicaciones en el campo de la industria, así como la valoración y proyección de las mismas en el futuro. Así pues, se ha considerado especial atención por orden de importancia a las arcillas especiales, diatomitas,

arenas silíceas y arcillas cerámicas. Con interés preferencial desde el punto de vista de la investigación que nos ocupa, destacan las arcillas especiales (sepiolita-attapulgita) y las diatomitas, en segundo orden de importancia las arenas silíceas.

De menor interés son las arcillas cerámicas, puesto que existe gran número de industrias repartidas por Andalucía (Bailén, Puente Genil, Puebla de Cazalla, Sevilla y algunos en la provincia de Cádiz, como centros de distribución a nivel nacional); son diversos los métodos y materiales empleados por dichos centros para la producción de elementos cerámicos de construcción. En este sentido cada industria tiene su tecnología adecuada a su mercado y a su explotación, por lo que difícilmente serían aceptadas consideraciones de mejoras al respecto. Sin embargo, si puede ser de gran utilidad evaluar las reservas en los centros de mayor producción a partir de una cartografía de estas sustancias.

De todo lo reseñado anteriormente se desprende que el objetivo principal de la investigación debe recaer especialmente en aquellas sustancias que no son bien conocidas y que el futuro comercial de las mismas las cataloga de muy interesantes, éstas son: arcillas especiales, diatomitas y arenas silíceas. A pesar de ésto, no hay menos cabo en la consideración de las

arcillas cerámicas, sobre las que se han hecho estudios de caracterización en los centros industriales de mayor relevancia.

En la designación de las clases de obra que designa el Pliego de prescripciones técnicas del Proyecto, hay una partida de ensayos tecnológicos o semiindustriales, que serían aplicables a las arcillas cerámicas. Durante la ejecución del Proyecto y por lo reseñado en el párrafo anterior, se creyó como más interesante cambiar esta partida presupuestaria por otra clase de obra de mayor incidencia en la investigación desarrollada. Esto es, la realización de cuatro sondeos sobre áreas de escasos afloramientos y donde los resultados de la analítica eran extremadamente prometedores en cuanto al contenido de arcillas especiales.

A continuación se expresan los cambios producidos en el desarrollo de la investigación, justificables porque mejoran considerablemente los objetivos finales del Proyecto.

- Aumento de la extensión a cartografiar a E.1:50.000, de 13.000 km^2 a más de 26.000 km^2. De esta manera se puede evaluar adecuadamente, en qué unidades geológicas están concentrados

determinados tipos de sustancias, qué horizontes estratigráficos son los más favorables y cuál es la potencialidad de los mismos. Finalmente desde un punto de vista paleogeográfico sería interesante llegar a deducir la existencia de estas sustancias en zonas ocultas.

- Cambio de cartografías de detalle de E.1:25.000 y E.1:10.000 de 200 y 20 km^2 respectivamente, a cartografía 1:50.000 antes reseñada, que es mucho más operativa por las razones aludidas.

- Perforación de 109 m repartidos en 4 sondeos mecánicos con extracción de testigo continuo sobre áreas demostradas como favorables y con un previsible potencial minero-industrial. Esta partida, no contemplada en el Proyecto, se ha accedido a su cambio, por los ensayos tecnológicos o semiindustriales y especiales, que había previstos realizar sobre arcillas cerámicas. Como se ha mencionado anteriormente el campo de explotación/producción de las arcillas cerámicas en la Depresión del Guadalquivir es muy grande y al mismo tiempo variado. La casi totalidad de las industrias

tienen su método de producción, con lo cual las aportaciones que se les hicieran por medio de los resultados de los ensayos tecnológicos, de poca utilidad iban a servir. Por esta razón, con el consentimiento del supervisor del Proyecto por parte de la Administración, se ha cambiado el tipo de obra, sin incrementar costo alguno a pesar de ser labores de mayor cuantía económica.

La valoración económica de las clases de obra que se han cambiado (aumento de cartografía y realización de sondeos), por aquellas que marca el Proyecto y que no se han efectuado, supera con creces el presupuesto general. No obstante, se ha hecho un esfuerzo en intentar enriquecer los resultados finales de la investigación, con objeto de potenciar el sector de rocas industriales y abrir nuevas puertas a investigaciones futuras en el ámbito de Andalucía.

2. ESTUDIO GEOLOGICO DE LOS DEPOSITOS TERCIARIOS DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR Y SU APLICACION A LA PROSPECCION DE ROCAS DE INTERES INDUSTRIAL

2. ESTUDIO GEOLOGICO DE LOS DEPOSITOS TERCIARIOS DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR Y SU APLICACION A LA PROSPECCION DE ROCAS DE INTERES INDUSTRIAL

Las tendencias más modernas de investigación que se están aplicando recientemente en los campos de la minería, rocas industriales, hidrogeología, etc., sobre áreas concretas, radica esencialmente en el análisis global de cuenca o cuencas sedimentarias, para determinar los factores que controlan la aparición, desarrollo y distribución de los cuerpos sedimentarios susceptibles de tener interés socioeconómico.

Por esta razón se ha procedido a interpretar y reinterpretar las informaciones reciente y antigua

respectivamente, que existen de la Cuenca del Guadalquivir. De esta manera se podrán determinar los parámetros que controlan la aparición o desaparición, desarrollo o no existencia de materiales con interés industrial para el caso que nos ocupa.

Esta es la línea de partida que se ha utilizado en el estudio para el aprovechamiento industrial de las arcillas y otras sustancias del Neógeno de la Depresión o Cuenca del Guadalquivir. Por lo tanto, a partir del estudio geológico de toda la Depresión, representado gráficamente por la cartografía a E.1:200.000 de toda la Cuenca que se presenta en esta memoria (plano nº 1), se ha podido elaborar un mapa a la misma escala (plano nº 2), donde aparecen las áreas que por sus características mineralógicas y sedimentarias tienen grandes posibilidades de albergar en su seno sustancias de tipo: arcillas especiales, cerámicas, diatomitas y arenas silíceas. Sustancias que son objeto de inveetigación en este Proyecto.

2.1 MARCO GEOLOGICO DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR

Comúnmente se admite que las Cordilleras Béticas se dividen en:

- Zonas Externas
- Zonas Internas

Las Zonas Externas ocupan las partes más septentrionales de la Cordillera, se dividen a su vez en tres dominios paleogeográficos, en función de la posición en la cuenca, siendo la Mesete Ibérica el margen septentrional emergido y zócalo. Estos dominios son los siguientes: Prebético, Unidades Intermedias y Subbético.

Las Zonas Internas se componen de tres complejos tectónicos globales, a saber: Nevado Filábride, Alpujárride y Maláguide.

Además existen dos dominios considerados "fuera" de los descritos anteriormente, pero implicados en su estructuración. Estos son: Unidades del Campo de Gibraltar y Depresión del Guadalquivir.

La Depresión del Guadalquivir, como contexto geológico global que interesa en este Proyecto, se ha comportado como una cuenca de antepaís durante el Neógeno y ha tenido una evolución diferente durante la Orogenia Alpina.

Dicha Cuenca está situada entre el frente de una cadena montañosa al Sur (Cordilleras Béticas) y el Cratón adyacente al Norte (Meseta Ibérica). Esta cadena montañosa ha sufrido a lo largo del Neógeno un

emplazamiento desde posiciones orientales hacia partes más occidentales, esto es desde el Este (Mar Mediterráneo) al Oeste (Océano Atlántico), determinando una colisión entre continentes en un proceso de convergencia oblícua (acercamiento diferencial de Este a Oeste de la Cordillera Bética, respecto de la Meseta).

Así pues, debido al proceso de colisión o convergencia oblícua, la Cuenca del Guadalquivir adquiere una morfología triangular, alargada en la dirección ENE-OSO, con una longitud que oscila entre 400 km para el límite septentrional y 340 km para el meridional, ambas comprendidas entre la Sierra de Cazorla al Este y el Golfo de Cádiz al Oeste. La anchura también es variable desde 40 km en la parte oriental a 100 km en la occidental.

2.2 EVOLUCION TECTOSEDIMENTARIA

Los materiales que rellenan la Depresión del Guadalquivir pertenecen a dos etapas diferentes en la evolución tectónica y sedimentaria del Neógeno de la Cuenca.

Por un lado caben destacar las unidades alóctonas, implicadas en un manto tectónico que prograda al Norte y hacia el Oeste, y por otro las unidades

autóctonas que representan el último relleno de la Cuenca.

Las Unidades alóctonas se configuran a su vez por dos ciclos sedimentarios bien distintos, el primero ocasionado por materiales que rellenan una cuenca preexistente y cuyo mecanismo de depósito estaba generado esencialmente por deslizamientos gravitacionales. Los materiales que se han depositado de esta manera y en el periodo Langhiense-Serravalliense, se les ha agrupado en una Unidad litoestratigráfica denominada Unidad Olistostrómica (masas deslizadas). El segundo ciclo comporta una sedimentación bien diferente generada en parte por procesos de carácter turbidítico o de sedimentación tranquila; a los sedimentos pertenecientes a este ciclo se les ha incluido en una Unidad detrítico-carbonatada definida como Unidad de Castro del Río por estar bien representada en dicho sector; el periodo de depósito duró desde el Serravalliense al Tortoniense.

Ambas unidades fueron desplazadas tectónicamente hacia el N y O en el tránsito Tortoniense-Messiniense.

Las unidades autóctonas completan el registro de subsidencia y deformación de la cuenca generada por

el desplazamiento de las anteriores. Estas unidades litológicamente son equivalentes entre éllas, sólamente varían de edad desde la Sierra de Cazorla al Golfo de Cádiz, que progresivamente se hacen más jóvenes. La distribución en el tiempo, por lo tanto evoluciona desde el Tortoniense, parte oriental de la Cuenca, hasta el Plioceno y/o Plio-cuaternario en la parte occidental de la misma.

El estudio geológico realizado enfocado para investigar rocas y sustancias minerales de interés industrial, ha permitido elaborar un plano cartográfico y a partir de él, otro de áreas favorables de acumulación de sustancias de interés industrial, ámbos a E.1:200.000. En el primero se ponen de manifiesto las unidades litoestratigráficas diferenciadas. En el segundo aparecen las áreas favorables y de mayor acumulación en las sustancias investigadas.

2.3 DESCRIPCION DE UNIDADES GEOLOGICAS Y SUSTANCIAS ASOCIADAS

En este epígrafe se mencionan todas las unidades estructurales y litoestratigráficas que rellenan la Depresión del Guadalquivir y que figuran en el plano nº 1 a E.1:200.000. Al mismo tiempo se indican aquellas unidades que son favorables para que aparezca algún tipo de sustancia de interés industrial. También

se valora el área o las áreas donde se ubican dichas sustancias, quedando reflejadas en el plano nº 2 a E.1:200.000.

2.3.1 Unidades Alóctonas

Son aquellas que están implicadas en el desplazamiento tectónico del frente bético, y que constituyen el Manto del Guadalquivir. Están formadas por la Unidad Olistostrómica y la Unidad de Castro del Río, ámbas consideradas en su conjunto por los autores como el "Olistostroma del Guadalquivir" o "Manto de Carmona".

2.3.1.1 Unidad Olistostrómica (1)

Dicha Unidad, se compone de acuerdo con las observaciones efectuadas, únicamente de elementos deslizados mediante mecanismos gravitatorios, no se han observado facies que pudieran asociarse a turbiditas o megaturbiditas.

Cartográficamente está representada desde la Sª de Cazorla hasta las inmediaciones de Sanlúcar de Barrameda. A grandes rasgos ocupa las áreas topográficamente más deprimidas.

El espesor de esta Unidad no es posible calcularlo, puesto que no se dispone de materiales más antiguos que élla en afloramiento. Además, al ser una Unidad que se ha emplazado tectónicamente presenta escamas superpuestas, con lo cual se duplica o triplica el espesor real de la misma. Sin embargo, de acuerdo con datos de sísmica y para las escamas que cabalgan a materiales más modernos dentro de la Depresión del Guadalquivir, el espesor generalmente es superior a 500 m, si bien éste se va reduciendo hacia el Norte hasta desaparecer.

La litología se compone esencialmente de materiales de diversa naturaleza, como son arcillas y margas de colores variados, areniscas rojas, yesos y dolomías. Todos estos elementos proceden de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas.

La estructura interna está constituida por una mezcla caótica de materiales diversos donde se reconocen los olistolitos, con formas tabulares o redondeadas; el tamaño de los mismos varía de algunos metros a varios hectómetros. En ocasiones la U. Olistostrómica se observa bien estratificada. Estratificación puesta de manifiesto por el acúmulo de clastos angulosos o subangulosos que constituyen auténticos niveles de conglomerados o brechas. Otras veces los niveles

estratificados los forman materiales arcillosos de tonos variados; estos niveles ofrecen un aspecto hojoso, análogo al observado en deslizamientos actuales.

Las observaciones realizadas sobre centenares de afloramientos, ha permitido deducir un mecanismo de transporte por deslizamiento, generado por gravedad.

La edad de esta Unidad está comprendida entre el intervalo Langhiense superior - Serravalliense inferior-medio.

Desde el punto de vista de rocas de interés industrial, caben destacar:

- Gravas: Se extraen de los olistolitos de dolomías en numerosos sitios. Generalmente las canteras son de tamaño reducido.

- Sales: Hay numerosísimas salinas distribuidas en toda Andalucía. Se ubican sobre los materiales salinos y su funcionamiento es eventual porque está controlado por el clima.

- Yesos: Muchos indicios de yeso ubicados sobre olistolitos incorporados en esta Unidad.

Estos materiales se explotan en la actualidad y no son objeto del Proyecto.

- Arcillas: Sobre la Unidad Olistostrómica, no existe actualmente en toda la Depresión del Guadalquivir, ninguna explotación de estos materiales. Las espectativas de estas sustancias en dicha Unidad son muy buenas, a tenor de las grandes extensiones cartográficas existentes. Además, la mineralogía detectada pone de manifiesto un indudable interés industrial, ya que tienen porcentajes en filosilicatos que superan el 75-80% del total de la roca y de estos, entre el 70-80% pertenecen a arcillas paligorskíticas en unos casos y en otros a esmectitas (usos alternativos con los fibrosos).

2.3.1.2 Unidad de Castro del Río (2, 3, 4, y 5)

Sobre la Unidad Olistostrómica descrita anteriormente, se ubica mediante una discordancia angular la Unidad de Castro del Río.

La inexistencia de afloramientos continuos, y la falta de contactos precisos, entre esta Unidad y las que la delimitan, impide conocer con exactitud la potencia de la misma. Sin embargo a juzgar por el desarrollo cartográfico, y el espesor de las secciones estratigráficas levantadas, la potencia que se estima

debe ser superior a 350 m.

Se distinguen varios tipos de facies:

- Facies de margas blancas y areniscas calcáreas (2)
- Facies de calcarenitas y/o calizas de algas (3)
- Facies de arenas silíceas y margas (4)
- Facies de margas blancas (5)

Las facies de arenas silíceas y margas (4), constituyen la base de la Unidad desde Mengíbar hacia el Oeste. Están bien representadas entre Castro del Río (Córdoba) y Santiago de Calatrava (Jaén), figura 1.

Presentan una morfología tabular a escala de afloramiento, si bien su continuidad lateral no supera casi nunca el kilómetro. El espesor de estratos suele estar comprendido entre 0,5 y 3 metros, aunque a veces oscile entre los 10 y 20 cm.

El estudio petrológico de estas arenas silíceas revela un alto contenido en cuarzo, siempre superior al 70%. La forma de los granos oscila desde subredondeados a angulosos, son homométricos y presentan en ocasiones crecimientos de sílice en torno a los clastos. Los clastos están trabados por cemento de calcita espática.

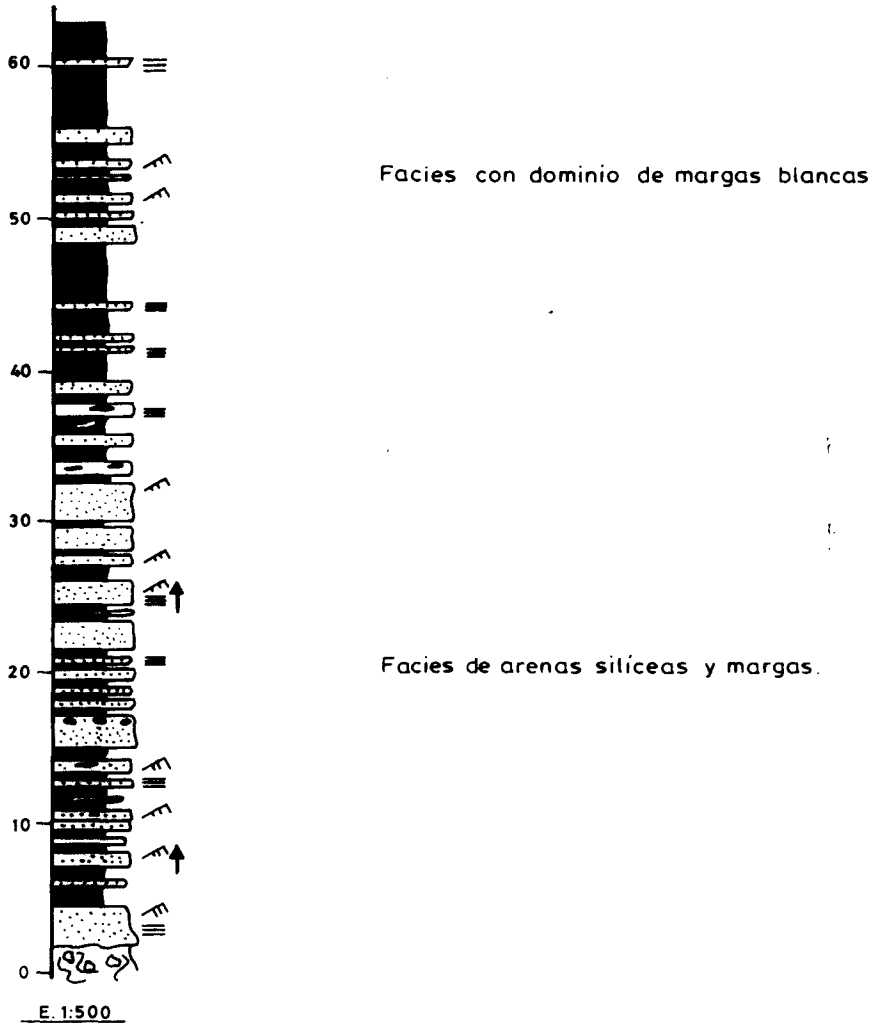


Fig. 1.- Secuencia estratigráfica de arenas silíceas y margas en Castro del Rio (945)

A veces entre las arenas silíceas se intercalan areniscas calcáreas bioclásticas, que pueden llegar a ser dominantes, sobre todo en la parte oriental de la Depresión del Guadalquivir, donde apenas están representadas las arenas.

Las facies de arenas silíceas y margas, forman una alternancia más o menos regular y de morfología tabular. Hacia el techo de la secuencia, los estratos de margas aumentan de espesor. Las tonalidades de estas últimas varían de verde y rojo en la base, a crema y blancas a techo.

La mineralogía global de la facies margosa está representada en orden a su abundancia, por: minerales de la arcilla (50-65%), cuarzo (11-36%), calcita (0-20%) y dolomita (0-10%). Dentro de los minerales de la arcilla destacan por su abundancia: esmectitas (33-73%), illita (27-50%) y clorita-caolinita (0-37%).

En el sector oriental de la Depresión del Guadalquivir, desde Mengíbar hasta la Sierra de Cazorla, la Unidad de Castro del Río presenta otro tipo de facies. Las arenas silíceas son escasas y entre las margas se intercalan estratos de areniscas calcáreas (2) y gravas de cantos de procedencia Bética. Además en el

borde Sur-oriental de la Cuenca (área de Jódar), hay dominio de calcarenitas y calizas de algas (3) como facies dominantes sobre margas blancas.

La facies de margas blancas (5) adquiere máxima representación cartográfica en el sector Central y Occidental de la Depresión del Guadalquivir. Puede aparecer a techo de las facies descritas anteriormente o bien directamente encima de la Unidad Olistostrómica.

Esta facies está constituida esencialmente por margas calcáreas blancas con intercalaciones de calcarenitas. En general los afloramientos son masivos y tectonizados; ocasionalmente se les aprecia una tenue laminación paralela debida a la presencia de niveles milimétricos de limos silíceos. A veces las margas tienen un porcentaje elevado de diatomeas, llegando a constituir auténticos estratos diatomíticos (Sanlúcar de Barrameda, Bornos, Martos, etc.). Tradicionalmente a esta facies se le ha denominado albarizas y/o moronitas.

La composición mineralógica de la facies margosa, está formada por minerales de la arcilla (21-54%), calcita (33-72%), dolomita (1-10%) y cuarzo (1-9%). Los minerales de la arcilla que se hallan presentes

en estos materiales son: esmectitas (8-70%), illita (22-62%) y clorita-caolinita (1-8%). Ocasionalmente hay arcillas de neoformación (paligorskita). En algunas muestras se ha observado presencia de cristobalita, que se interpreta como producto de la transformación diagenética incipiente del ópalo biogénico de las diatomeas.

Desde el punto de vista de rocas que puedan tener interés industrial, dentro de esta Unidad, caben señalar las diatomitas y las arenas silíceas. En toda la Depresión del Guadalquivir no existen explotaciones de arenas silíceas sobre esta Unidad, por lo que dado el alto contenido en sílice y extensión de afloramientos las hacen potencialmente interesantes. Los niveles diatomíticos intercalados entre las margas blancas, se han explotado en algunos puntos para la industria cerámica, ladrillería de bajo peso específico; pero la cantidad de carbonatos de estas arcillas/margas, han hecho que casi toda la actividad canteril radicada sobre estos materiales esté paralizada. No parece que los niveles diatomíticos salvo algunas ocasiones (Martos, Sanlúcar de Barrameda, etc.), tengan suficiente entidad de afloramientos, ya que en los demás casos observados están muy tectonizados, muy recubiertos o tienen escaso espesor.

2.3.2 Unidades Autóctonas

Aquí se incluyen todos los sedimentos de la Cuenca del Guadalquivir que no han sufrido desplazamiento tectónico y permanecen en el lugar de su depósito inicial.

Litológicamente son muy parecidas entre ellas, los límites se establecen en base a su cronoestratigrafía.

Así pues, se han distinguido varias unidades con sus facies asociadas, que se irán describiendo en orden jerárquico en cuanto a la edad de sus depósitos.

2.3.2.1 Unidad de edad Tortoniense (6, 7 y 8)

Aflora en el sector oriental de la Cuenca del Guadalquivir entre Torreblascopedro y la Sierra de Cazorla.

El límite estratigráfico inferior parece ser de tipo conformidad con las Unidades Alóctonas. El superior no se observa y puede ser gradual con la Unidad que le sigue.

El espesor global podría ser superior a los 400-500 m.

La morfología de los cuerpos sedimentarios, a escala de afloramiento suele ser tabular o ligeramente cuneiforme. A escala regional es cuneiforme con evidencias de progradación hacia el SO.

La microfauna estudiada indica una edad que oscila entre el Tortoniense medio y el superior.

Calizas de algas, calcarenitas y areniscas calcáreas bioclásticas (6)

Superficialmente aparecen en el límite Norte y Este de este segmento de cuenca, entre los puntos geográficos antes mencionados.

Es discordante sobre materiales paleozoicos y mesozoicos de la Meseta y del Prebético respectivamente.

Normalmente las facies que predominan son de areniscas y/o biorruditas calcáreas bioclásticas. Casi nunca superan los 20-30 m de potencia, siendo el espesor medio de 5 a 10 m. Ocasionalmente existen parches de algas de escasa extensión areal.

La disposición aflorante un tanto aleatoria de estos materiales con respecto al zócalo, representa impulsos rectráctiles o extensionales de estos cuerpos sedimentarios en función de los cambios eustáticos (subidas o bajadas del nivel del mar), de ahí que cambien lateralmente de facies y potencia.

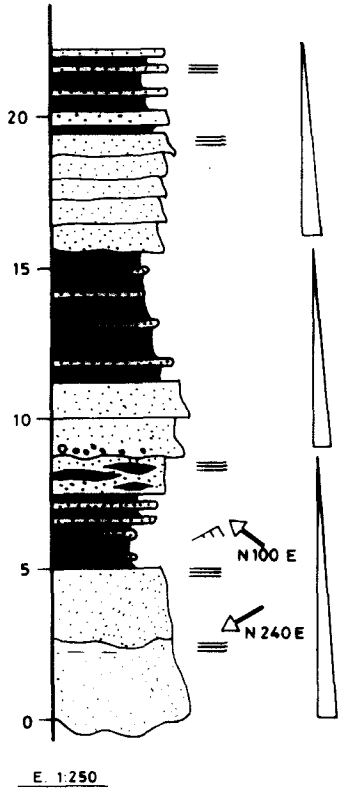
Como interés desde el punto de vista de rocas industriales únicamente las facies de calizas de algas pudieran tener utilidad como roca ornamental.

Areniscas, arenas, limos y arcillas (8)

Afloran extensamente entre las lomas de Ubeda y Baeza.

La secuencia fundamental se observa en la figura 2, donde se aprecia la alternancia de areniscas, arenas, limos y arcillas. La columna estratigráfica representa tres ciclos menores de depósito (A, B y C). Sin embargo existen varios ciclos mayores que globalizan un espesor mucho mayor, quizás varias centenas de metros, que el expuesto en la figura.

La distribución de estos sedimentos se interpreta ligada a disposición de abanicos o lóbulos arenosos submarinos, que progradan hacia el interior de



Ciclos A, B y C estrato y granodecrecientes.

Fig. 2 - Areniscas, arenas, limos y margas de la loma de Ubeda - Baeza.

la cuenca en un ambiente no muy profundo probablemente de tipo plataforma externa.

Desde el punto de vista de los usos o aplicaciones industriales de estos depósitos, cabe indicar que en líneas generales las arcillas son muy arenosas o presentan contínuos niveles o láminas arenosas. Las areniscas suelen tener las superficies de estratificación irregulares (deformación por carga) o estar amalgamadas con otros estratos y las arenas, aunque de componente silícea de media a elevada (entre 30 y 60% en SiO_2), presentan abundantes fragmentos arcillosos y bioclásticos, y son de poco espesor.

Por todo lo aludido anteriormente, el área donde se ubican estos materiales no es rocomendable a priori para la prospección de arcillas y arenas silíceas. Excepcionalmente se han utilizado y se podrían extraer de sitios concretos algunas losas de areniscas para la construcción.

Arcillas, margas, localmente diatomitas (7)

Están bien representadas cartográficamente al Este y Oeste de los materiales antes referidos. Es decir ocupan grandes extensiones en las inmediaciones de Villacarrillo y entre Torreblascopedro y Lupión.

Se sitúan indistintamente a techo o muro de las secuencias arenosas antes mencionadas, y deben corresponder a las facies distales de los dispositivos sedimentarios antes aludidos. La determinación sedimentológica y estratigráfica precisa de estos depósitos, es fundamental, puesto que ocasionalmente pueden albergar depósitos de diatomeas (diatomitas) en su seno, como ocurre en el Sector de Torreblascopedro, donde la extensión areal parece más que considerable a juzgar por los afloramientos.

A pesar de tener pocos datos analíticos de estas sustancias en los sectores reseñados, se consideran áreas de interés para arcillas cerámicas la zona de Villacarrillo y de diatomitas la zona de Torreblascopedro. En esta última zona los análisis químicos efectuados dan un contenido en SiO_2 superior al 50%. Por lo tanto sería recomendable una investigación más a fondo de este área.

2.3.2.2 <u>Unidad de edad Messiniense</u> (9, 10, 11, 12 y 13)

Se extiende desde las fosas de Linares y Bailén hasta las inmediaciones de Huelva y Cádiz.

Se dispone de forma concordante y en tránsito gradual, sobre la unidad anteriormente mencionada,

marcando un nuevo relleno de la Cueca del Guadalquivir.

El espesor global de la misma oscila entre 400 y 700 m, si bien puede verse considerablemente reducido dada la morfología cuneiforme que presenta a escala regional.

Los cuerpos sedimentarios constituidos por diferentes facies, progradan desde los bordes de la cuenca (Meseta y frente del Manto del Guadalquivir) en forma centrípeta y a lo largo de la misma hacia el Golfo de Cádiz.

La edad viene determinada por numerosos estudios de microfauna y microflora, y comprende todo el Messiniense, sin excluir la parte alta del Tortoniense terminal.

Dentro de esta Unidad se han distinguido en cartografía cinco facies litológicas y son las siguientes:

- Facies de arenas, gravas y limos arcillosos rojos (9)
- Facies de arenas y calcarenitas (10)
- Facies de gravas y arenas (11)
- Facies de areniscas, arenas y arcillas (12)
- Facies de arcillas (13)

Facies de arenas, gravas y limos arcillosos rojos (9)

Afloran en el borde Norte de la cuenca, sobre el zócalo Paleozoico. Geográficamente están bien representados en: La Fosa de Bailén-La Carolina, inmediaciones de Andújar, entre Marmolejo y Montoro, en Adamuz, entre Almodóvar y Posadas y en Villanueva del Río y Minas.

En líneas generales presentan una facies detrítica grosera constituida por gravas de cantos cuarcíticos, muy redondeados y arenas; además presentan intervalos de limos arcillosos con cantos de gravas embebidos. Ocasionalmente pueden intercalar calizas lacustres (inmediaciones de La Carolina). La disminución de la granulometría es evidente conforme estos materiales progresan hacia la Cuenca.

El espesor es variable, pero en las inmediaciones de la Carolina es superior a 45 m. Según datos de sondeos y de sísmica la potencia máxima puede llegar a ser del orden de 100 m.

El uso de estos materiales como áridos para la construcción de carreteras es excelente, como así se utiliza en el firme de la autovía de la Carretera Nacional IV, entre Bailén y Andújar.

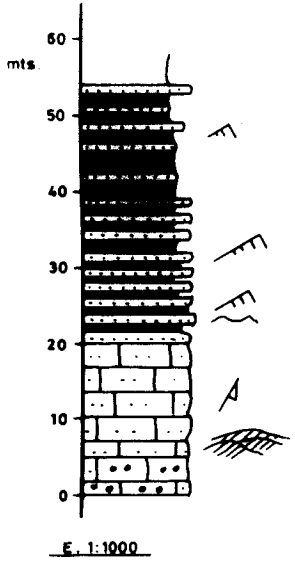
Facies de calcarenitas y arenas (10)

Sus afloramientos están situados en los bordes de la Cuenca del Guadalquivir. Al Norte sobre zócalo Paleozoico y al Sur sobre materiales de edad algo más antigua o bien sobre las unidades alóctonas.

En el borde Norte dominan las facies de calcarenitas sobre las arenas, menos en aquellos sectores donde hay entrada a la cuenca de abundantes materiales detríticos (áreas con predominio de facies fluvio-deltáicas, Andújar, La Carolina, etc.).

En el borde Sur el porcentaje de arenas, areniscas o limos arcillosos, es superior al de calcarenitas. Estas últimas sólo están representadas en Porcuna, NE de Castro del Río, Aguilar de la Frontera, Puente Genil, Osuna y Arcos de la Frontera, y siempre en íntima relación con arenas silíceas o areniscas calcáreas.

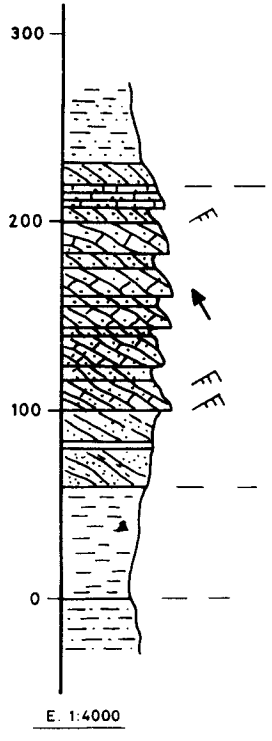
El espesor es variable a lo largo de toda la cuenca, por la morfología de los cuerpos sedimentarios y los dispositivos que los regulan. En la figura 3 se muestra la secuencia de estos materiales en Porcuna. En la figura 4 se muestra la relación entre las calcarenitas y arenas silíceas, para el sector de Arcos de la Frontera.



Areniscas y margas.

Calcarenitas.

Figura 3.- Secuencia estratigráfica de las calcarenitas de Porcuna.



Alternancia de calcarenitas, areniscas calcáreas y arenas silíceas. Cuerpos estratiformes de set cruzados.

Margas y/o arcillas.

Figura 4.- Secuencia estratigráfica de las calcarenitas y arenas silíceas de Arcos de la Frontera.

Las arenas silíceas de Arcos de la Frontera se explotan para moldeo y fabricación de vidrio. En diversos puntos del borde Norte de la Cuenca, hay canteras donde el producto es destinado para la construcción o arreglo de firmes de caminos.

Las calcarenitas han tenido explotaciones diversas para la construcción de muros y pilares exteriores de edificios y monumentos, hoy día esta actividad está prácticamente abandonada a excepción de la localidad de Porcuna. Sin embargo, hay que destacar el gran auge existente en la reconstrucción de monumentos, por lo que habría posibilidad de replantear de nuevo algunas explotaciones.

Facies de gravas y arenas (11)

Aparecen normalmente ubicadas en las inmediaciones de todo el borde Norte de la Depresión del Guadalquivir y como afloramientos aislados o semiaislados dentro de la Cuenca.

Aunque la facies está constituida esencialmente por gravas y arenas, presentan a veces pequeñas intercalaciones de limos y arcillas. Desde el punto de vista sedimentológico constituyen las facies proximales y medias dentro de abanicos submarinos

(abanicos deltáicos), conectados en la mayoría de los casos con los elementos procedentes de la erosión de la Meseta. Las arenas son muy cuarzosas y las gravas contienen en su mayoría, cantos cuarcíticos muy redondeados (probablemente heredados de otros procesos de transporte anteriores).

El espesor es variable puesto que son cuerpos de morfología cuneiforme y/o lenticular, pero no excede de los 20-30 m. En muchos puntos estos materiales se han interpretado como terrazas antiguas de la red fluvial actual.

Por la granulometría que presentan las gravas (muy homogénea) y la naturaleza de los cantos, estos depósitos son buenos para la construcción de firmes de redes viales.

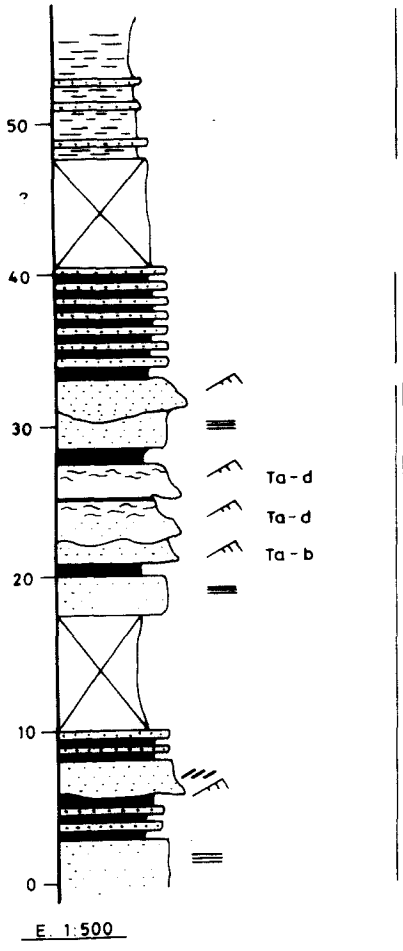
También son de gran interés las arenas silíceas. En este sentido caben destacar las áreas de Montemayor - Fernán Núñez - Montalbán - Aldea Quintana (inmediaciones de Córdoba), donde la analítica ha arrojado unos contenidos en SiO_2, sobre muestra no lavada, superiores al 80%, y en Aldea Quintana se ha superado el 95%. En Fuentes de Andalucía hay una explotación de arenas silíceas que las usan como aglomerante junto con cemento (cemento cola o pegolán);

el contenido en sílice de estas arenas llega a ser del 97%. Las reservas, en la provincia de Córdoba de estas sustancias son grandes por la amplia distribución areal de las mismas; sobre éstas, actualmente sólo existen algunas canteras puntuales donde las utilizan sólo para la construcción.

Facies de areniscas, arenas y arcillas (12)

Cartográficamente se distribuyen desde Jabalquinto (Jaén), hasta las inmediaciones de Ecija. Aunque sus afloramientos son discontínuos, éstos pueden llegar a cubrir grandes áreas (Porcuna y Bujalance).

Están constituidas por una alternancia de arenas o areniscas, en estratos tabulares o no, y arcillas o margas. En la figura 5 se expone una secuencia típica de esta facies. Dentro de ésta, hay que distinguir varios ciclos; el A, donde hay dominio de arenas y/o areniscas consecuencia de una amalgamación de facies (facies de abanico medio-medio/proximal); el B, formado por una alternancia muy regular de estratos tabulares de areniscas o bien arenas (componente silícea media a elevada), pertenecen a las facies medias y/o distales de abanicos turbidíticos submarinos (ver figura 4 parte alta); el ciclo C tiene un dominio de arcillas y/o margas, ocasionalmente con niveles diatomíticos (Porcuna, Andújar, Mengíbar, etc.), sobre arenas o



C — Arcillas y margas diatomíticas con niveles de arenas silíceas intercaladas.

B — Alternancia de lechos tabulares de areniscas y/o arenas y arcillas.

A — Dominio de cuerpos arenosas amalgamados sobre arcillas.

Figura 5.- Secuencia de carácter turbidítico de Jabalquinto-Mengíbar.

areniscas. Este ciclo C constituye la parte distal de estos abanicos.

La definición y delimitación de esta secuencia en campo es fundamental, puesto que aportará datos de sumo interés para poder detectar áreas con importantes acúmulos de diatomeas. En este sentido cabe indicar, que a juzgar por los datos de geología de superficie y sedimentológicos, tanto la Unidad de edad Tortoniense como ésta de edad Messiniense, en las partes distales de las secuencias o series turbidíticas es donde aparecen los niveles diatomíticos. Por lo tanto este aspecto es importante contemplarlo en actuaciones futuras, puesto que hasta ahora no se sabía a ciencia cierta cual era el control, ni la distribución de los depósitos diatomíticos en la Depresión del Guadalquivir.

El espesor de estas secuencias es difícil calcularlo, pero debe ser superior a 100-150 m.

El escaso desarrollo lateral y vertical observado en superficie de los niveles de arenas silíceas y su contínua alternancia con arcillas, no hace de estas áreas puntos de interés en la prospección de esta sustancia. En cambio la presencia de diatomitas, en ocasiones con potencias que superan los 2,5 m de espesor, y con unos valores analíticos que superan el

60% en SiO_2, hace que las partes altas de estas secuencias sean objetivos prioritarios, para la detección de este tipo de rocas de gran aplicación industrial.

Facies de arcillas (13)

Se extienden desde las Fosas de Linares y Bailén hasta las inmediaciones de Huelva y Sanlúcar de Barrameda. Desde la zona oriental mencionada hasta las inmediaciones de Carmona, sus afloramientos ocupan, junto con algunas de las facies descritas anteriormente, el centro de la cuenca, para verse relevadas de esa posición por otros materiales más modernos, desde Carmona hasta el Golfo de Cádiz.

Genéticamente están ligadas, estas facies de arcillas y/o margas, con las partes altas de la secuencia descrita anteriormente, y por consiguiente van asociadas a los depósitos distales de los dispositivos mencionados (abanicos submarinos) o bien pueden ser sedimentos de cuenca.

El espesor de estos cuerpos arcillosos puede en ocasiones superar los 80-100 m.

Estos sedimentos constituyen el asiento de importantes industrias cerámicas ladrilleras, como es el

caso de Bailén, Montoro, Aguilar, etc. Aunque las reservas de estas sustancias son enormes, hay que tener en cuenta que estos depósitos van asociados con otros de naturaleza detrítica. Por tanto en grandes explotaciones se puede dar el caso que la aparición de cuerpos arenosos haga inviable continuar la explotación, cuando la infraestructura industrial ya está montada.

En la Fosa de Bailén-La Carolina se ha realizado un estudio sedimentológico y estratigráfico (figuras 6 y 7, para poner de manifiesto los recursos existentes en arcillas cerámicas, por ser este área uno de los mayores productores de ladrillos a nivel nacional.

En la figura 6, se muestran las series estratigráficas de la mitad septentrional de la Fosa (área de La Carolina), donde no se advierte aún la aparición de sedimentos arcillosos, pertenecientes a la facies descritas.

En la figura 7, las columnas estratigráficas pertenecen la sector de Bailén, donde algunas de ellas se han levantado directamente sobre frentes de canteras. Como se advierte a partir de las litologías dibujadas en estas columnas, la presencia de elementos detríticos va en aumento, a medida que se desciende en la serie.

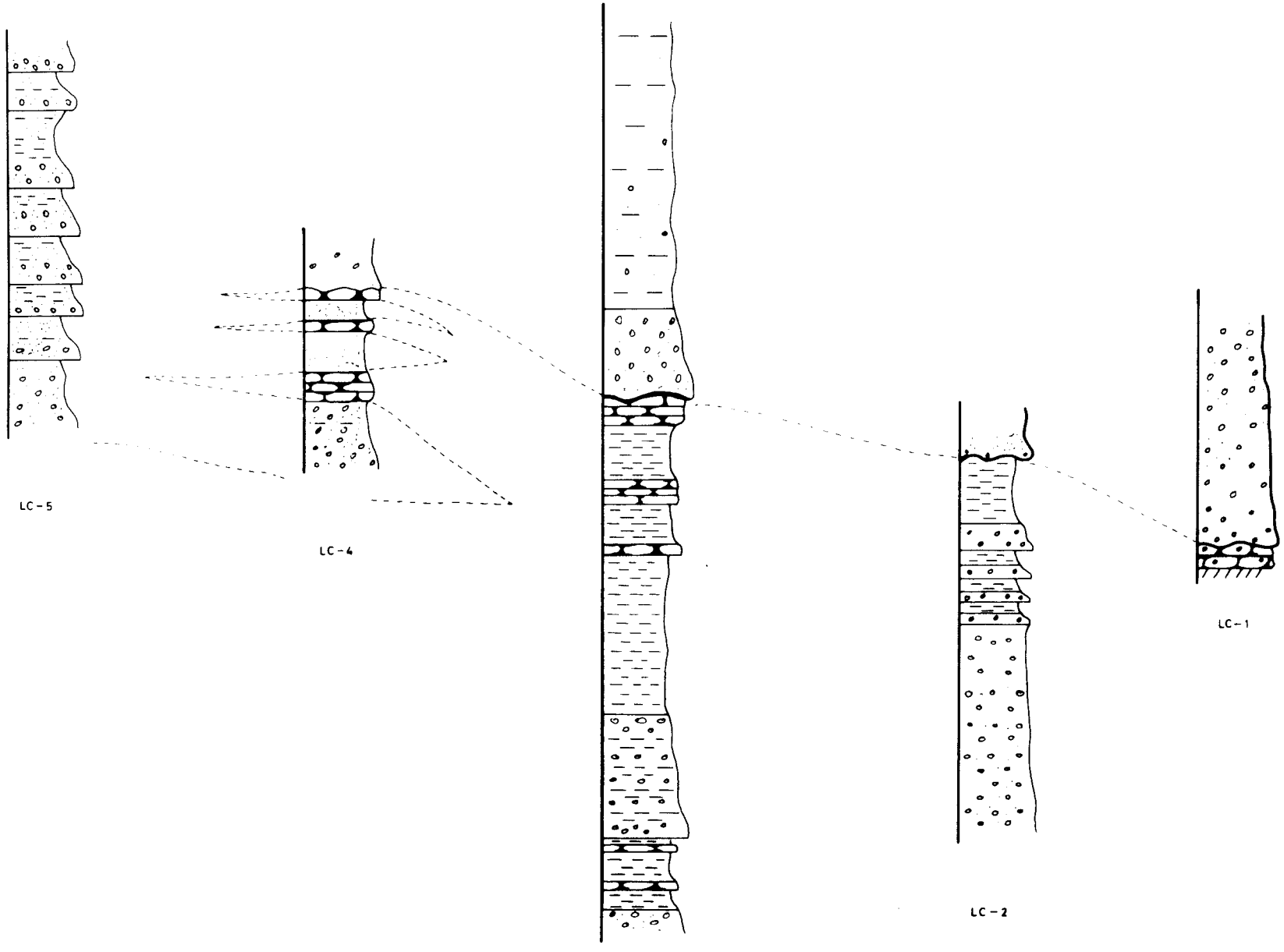


Figura 6.- Correlación de columnas en el sector de La Carolina.

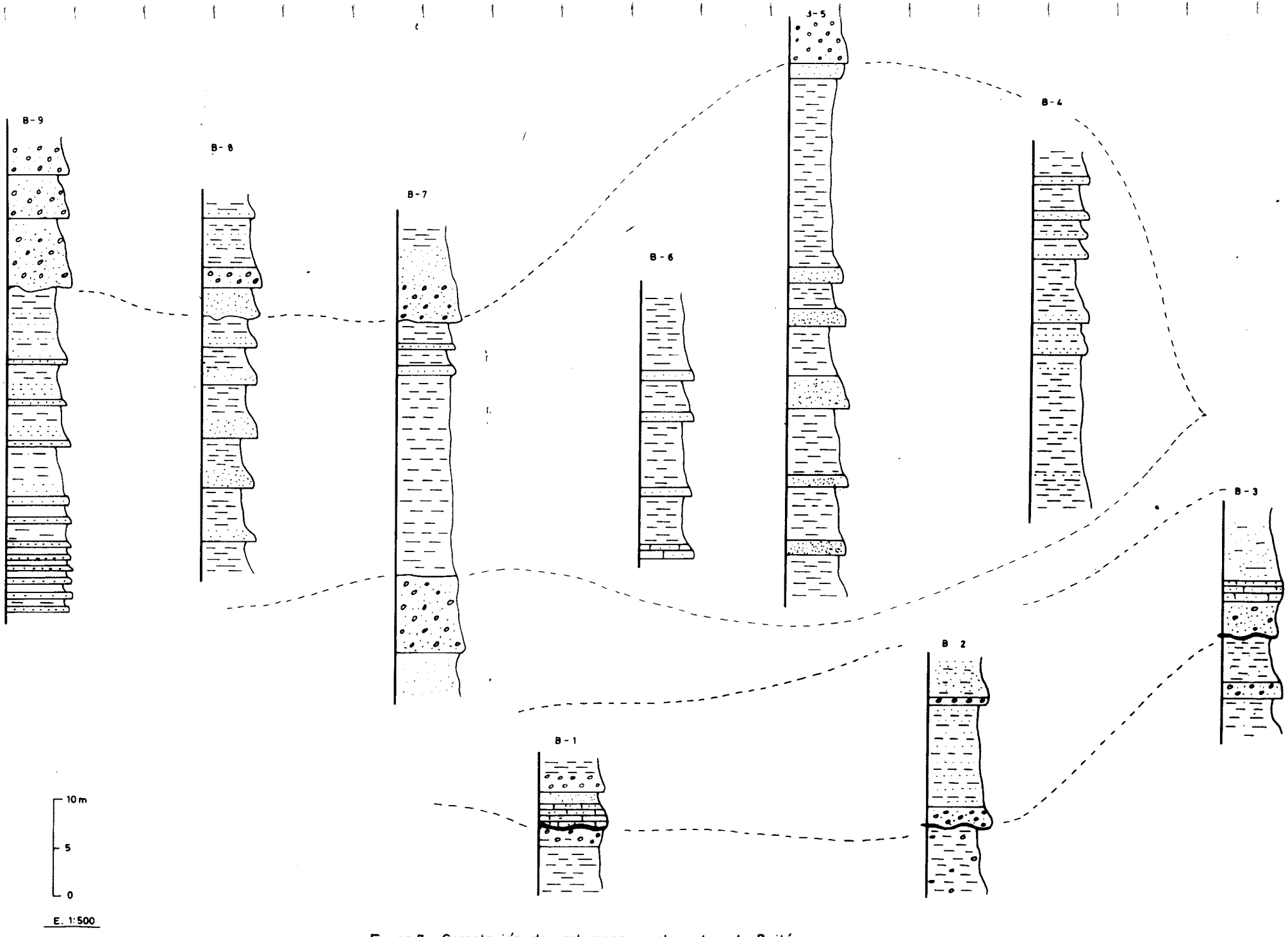


Figura 7.- Correlación de columnas en el sector de Bailén.

Habida cuenta que las explotaciones llevadas a cabo en los últimos años han experimentado un gran aumento, los paquetes arcillosos del techo de la secuencia han sido en su mayor parte extraidos, con lo cual algunas industrias están teniendo en la actualidad problemas de abastecimiento de material útil.

Es obvio que los materiales arcillosos adquieren mayor entidad a medida que se abre la Fosa hacia la Cuenca franca del Guadalquivir. Este aspecto es de sumo interés para tenerlo en cuenta por parte del sector industrial, ya que algunos empresarios con buen criterio han optado por ubicar nuevas industrias, hacia el Sur de Bailén (carretera de Granada), donde las reservas a priori parecen más seguras.

2.3.2.3 Unidad de edad Messiniense superior-Plioceno Inferior (14 y 15)

Comprende dos formaciones geológicas que además de estar desconectadas, son totalmente diferentes entre sí. Una está ligada a la denudación de los relieves circundantes tanto de la Meseta como del frente Bético y se sitúa en la parte oriental de la Cuenca. La otra aparece bien representada entre Carmona-Marchena y Sevilla.

Las formaciones en cuestión son:

- Formación detrítica continental (14)
- Formación detrítica marina (15)

Ambas son de edad Messiniense terminal - Plioceno Inferior, si bien la citada en primer lugar la edad se establece en base a criterios regionales de correlación estratigráfica.

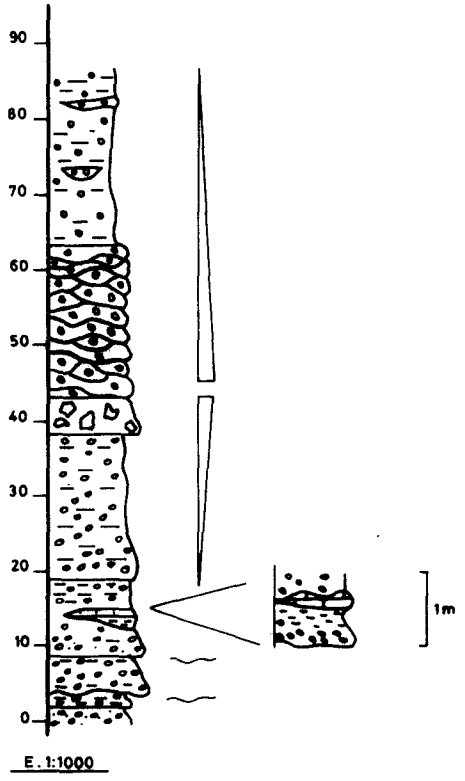
Formación detrítica continental (14)

Adquiere su mayor y casi exclusivo desarrollo al Norte de la línea que une las localidades de Jaén y Mancha Real y al Este de Andújar.

Se sitúa de forma discordante sobre cualquier unidad más antigua que ella y que aflore en este sector.

Esta Formación está constituida por una facies fundamentalmente detrítica grosera. Formada en su mayor parte por gravas, arenas y limos rojos.

En la figura 8 se muestra una secuencia global de esta Formación en las proximidades del frente bético. Este tipo de secuencia y su naturaleza litológica es típica de abanicos aluviales, donde cada ciclo sedimentario depende de procesos diferentes. Los ciclos



Ciclos estrato y granodecrecientes (posibilidad a techo de que aparezcan facies fluvio lacustres).

Ciclos estrato y granocrecientes.

Fig. 8.- Secuencia estratigráfica de la Formación detrítica continental. Predominio de gravas. Mancha Real.

estrato y granocrecientes son indicativos de una reactivación del sistema aluvial producto de la fuerte erosión y denudación de relieves circundantes. En los ciclos estrato y granodecrecientes, el sistema se invierte y se pasa a una etapa de tranquilidad y quietud, dando ocasionalmente facies lutíticas y/o arcillosas en partes encharcadas o lacustres.

En las zonas encharcadas o lacustres se producen depósitos arcillosos bien representados al Este de Andújar (en las inmediaciones de Espeluy) y en Mancha Real. Estos depósitos superan a veces el metro de espesor. La analítica de Rayos X efectuadas sobre dos muestras tomadas en estas dos localidades, arrojan unos valores que oscilan entorno al 10% de minerales fibrosos de la arcilla, de tipo paligorskita, sobre muestra global.

Dadas las grandes aplicaciones industriales que actualmente tienen este tipo de arcillas especiales, apesar de haber determinaciones en paligorskita bajas, se consideran las áreas referidas como anómalas. Por consiguiente son zonas a tener en cuenta en cualquier planteamiento de investigación futura sobre estas sustancias.

Formación detrítica marina (15)

Su mayor distribución cartográfica está limitada geográficamente por las localidades de Sevilla, Carmona, Marchena, Utrera y El Coronil.

La facies principal es de arenas y limos amarillentos, denominada por los lugareños "albero". En ocasiones hay niveles de calcarenitas intercalados que pueden alcanzar varias decenas de metros de espesor (sector de Carmona). Normalmente tienen una granulometría de arena media a fina y la componente prioritaria es de bioclastos y cuarzo. A veces esta arena puede enriquecerse considerablemente en uno u otro componente, llegando a ser arenas silíceas con un contenido elevado en SiO_2. En la figura 9 se muestran dos secuencias de El Coronil y Marchena donde se ven algunos rasgos litológicos y el espesor de las capas. En la figura 10 se observa la secuencia de calcarenitas de Carmona, levantada en una antigua explotación de piedra de sillería.

El espesor de esta Formación es variable pero no debe sobrepasar los 50-60 m de potencia.

Desde tiempo inmemorial se usan las arenas y limos de esta formación para: cosos taurinos, pistas de

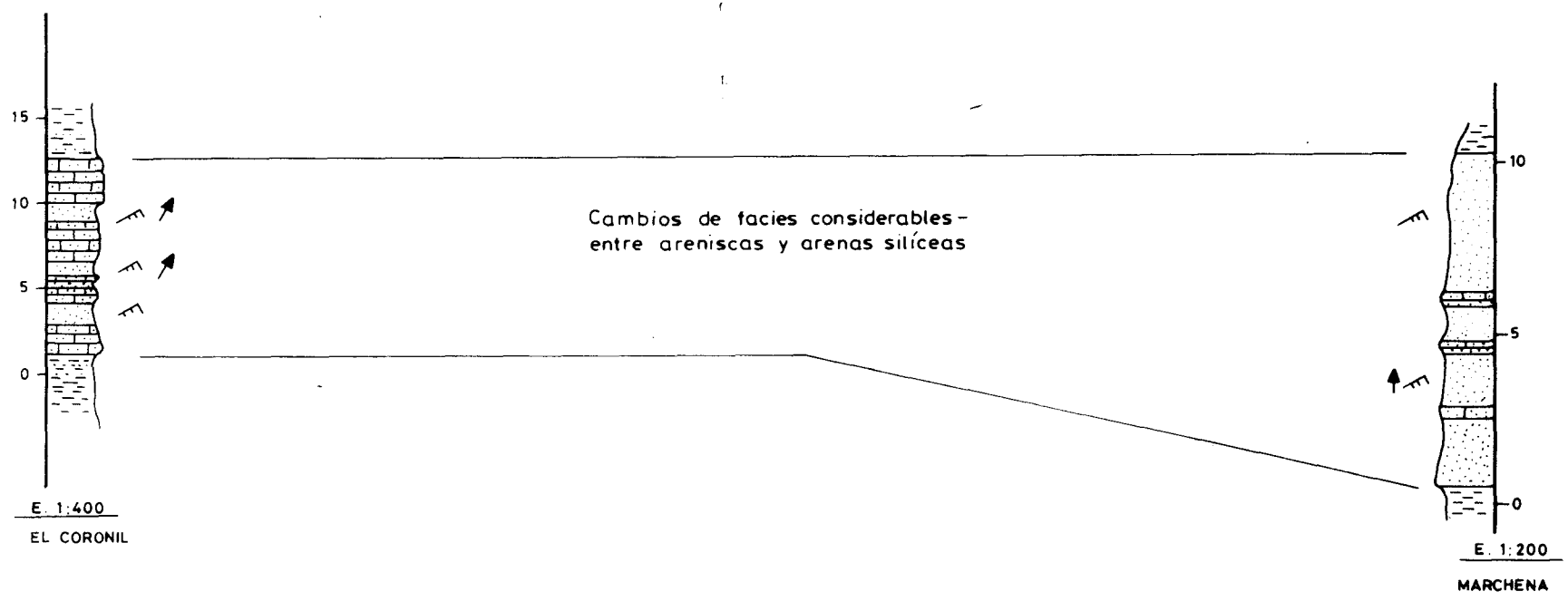
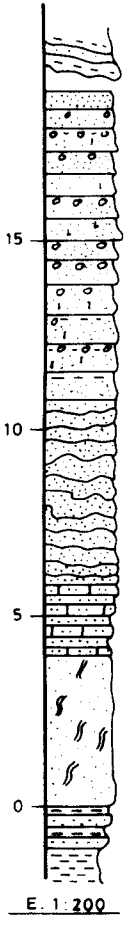


Fig. 9.- Arenas silíceas (albero) y areniscas calcáreas.



Tramos de calcarenitas masivas. Potencia máxima de calcarenitas observada en todo el sector

Fig. 10: Secuencia de las calcarenitas de Carmona

tenis, campo de fútbol, caminos, etc. extraidas de numerosas canteras en Alcalá de Guadaira. En cambio no existe ninguna explotación de arenas silíceas en la actualidad, y hay zonas que ofrecen buenas expectativas. Así mismo, en las inmediaciones de Carmona hace varios siglos (a juzgar por las inscripciones que aún están marcadas en las paredes), se explotaron las calcarenitas para la construcción del casco antiguo de la ciudad.

2.3.2.4 Unidad de edad Plioceno (16, 17 y 18)

Tiene una distribución cartográfica de morfología triangular, de manera que el vértice más oriental llega a las estribaciones de Palma del Río y los otros dos delimitan el Golfo de Cádiz.

Esta Unidad en superficie es litológicamente idéntica a la subyacente (Unidad de edad Messiniense) únicamente se ponen de manifiesto las diferencias, por criterios faunísticos y por datos de sísmica. Algunos perfiles sísmicos consultados, permiten poder determinar como se establece en el Plioceno una nueva cuenca de sedimentación. Previo al relleno de esta nueva cuenca se produce un periodo erosivo que en algunos sectores elimina más de 400 m de serie Messiniense.

El espesor global de la Unidad puede superar

los 500-600 m en los depocentros (sectores de mayor acumulación de sedimentos).

La morfología es tabular a escala de afloramiento pero cuneiforme a escala regional, con evidencias de cuerpos progradantes hacia el NO, SE y principalmente hacia el Golfo de Cádiz.

La edad por datos de microfauna y microflora (nannoplancton), es Plioceno con abundates microorganismos resedimentados de edades más antiguas.

Dentro de esta Unidad se han diferenciado tres tipos de facies diferentes:

- Facies de arcillas (16)
- Facies de areniscas y arcillas (17)
- Facies de gravas arenas y limos (18)

Facies de arcillas (16)

Afloran entre Carmona y Palma del Río y con mayor extensión desde el Norte de Sevilla hasta Huelva, generalmente hacia el Sur están recubiertas por materiales más recientes.

Litológicamente están constituidas por

arcillas y/o margas gris-azuladas a beiges. Son masivas y con escasos niveles arenosos. Desde el punto de vista mineralógico son predominantemente ilitas con alto contenido en carbonatos.

El espesor varía desde pocos metros en las partes septentrionales de la Cuenca a varios centenares de metros hacia el centro de la misma.

Sobre estos materiales hay instaladas numerosas industrias ladrilleras en las provincias de Sevilla y Huelva.

Facies de areniscas y arcillas

Se han observado únicamente entre Carmona y Palma del Río. Sus afloramientos ocupan bandas largas y estrechas, íntimamente conectados a las facies arcillosas.

La litología es una alternancia de areniscas amarillas y arcillas grises. Los afloramientos son malos y escasos, por lo que no se puede precisar mucho más.

Aunque hay esporádicos niveles de arenas no parece que estos tengan ni la calidad ni entidad suficientes, como para tenerlos en cuenta desde un punto

de vista de uso industrial. Los niveles de arcillas al estar intercalados con areniscas, tampoco presentan demasiado interés, máxime cuando hay áreas mucho más extensas con materiales de mejores características.

Facies de gravas, arenas y limos

Ocupan un gran área que discurre desde las cercanías de Sevilla hasta Huelva y Gibraleón. También hay algunos afloramientos de dimensiones mucho más reducidas, en Jerez de la Fontera y Sanlúcar de Barrameda.

La facies aflorante es una alternancia más o menos regular de arenas y limos. En ocasiones alternan niveles de gravas de matriz arenosa y abundantes conchas de ostreidos y lamelibranquios (facies ostionera). También se observan de vez en cuando niveles de areniscas.

Las arenas tienen una granulometría variable, pero lo normal es que sea de tamaño medio o grueso. La composición es fundamentalmente cuarzosa con proporciones variables de restos de bioclastos. Se les puede considerar en líneas generales a este tipo de facies que son arenas silíceas.

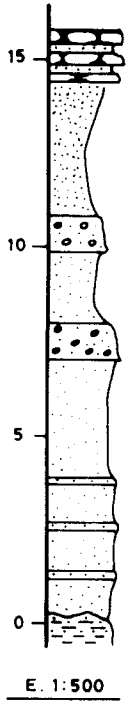
En la figura 11 se muestra una secuencia de arenas silíceas de características marinas con paquetes lacustres a techo. Se ha levantado en Mesas de Asta (al Norte de Jerez de la Frontera).

Los análisis químicos para conocer el contenido en SiO_2, de numerosas muestras tomados de estas facies, supera el 80%, sin haberse realizado ningún tipo de tratamiento. Por lo tanto se consideran a priori de buena calidad para tenerlas en cuenta como áreas fuente de arenas silíceas. Sin embargo geográficamente ocupan zonas agrícolas preferentes o parques naturales (cotos, marismas, etc.).

2.3.2.5 Unidad de edad Plioceno Superior

Sus afloramientos se han reconocido cartográficamente desde el Norte de Jerez hasta las inmediaciones de Puente Genil. Por lo general dichos afloramientos son abundantes y poco extensos (no superiores a varios km^2). Excepción hecha del área de La Lentejuela donde se supera la decena de km^2.

Los afloramientos de estos materiales son muy deficientes. Sin embargo, a partir de taludes de carreteras, caminos y socavones ocasionados por las arroyadas, se han podido reconocer estas facies y



Arenas y calizas lacustres.

Arenas silíceas y niveles de gravas con ostreidos (facies ostionera).

Fig. 11 - Secuencia de arenas silíceas y gravas. Mesas de Asta.

analizarlas. Sobre algunos de los puntos de interés se han efectuado algunos sondeos, con el objeto de determinar la entidad y mineralogía que se desarrolla en profundidad.

Es discordante sobre las unidades antes descritas que yacen bajo ella.

El espesor es muy variable puesto que normalmente estos materiales ocupan pequeñas cuencas aisladas. La potencia máxima observada en el área de El Cuervo supera los 45 m. En Montellano un sondeo realizado dentro de este Proyecto, atravesó más de 50 m de estos materiales. En resumidas cuentas la potencia puede variar según los puntos entre la decena de metros y 50-60 m como máximo.

Litológicamente se compone de arcillas, arcillas margosas, calizas, todas ellas con pasadas ocasionales de arenas silíceas de espesor centimétrico. Son facies claramente lacustres como así lo indica la fauna de agua dulce encontrada.

Desde el punto de vista mineralógico las arcillas en general en este tipo de facies, presentan contenidos apreciables en arcillas especiales. Dentro de estas destacan principalmente la paligorskita y

ocasionalmente la sepiolita. Las áreas donde ha habido contenidos anómalos en estos minerales se sitúan en: Mesas de Asta, Lebrija, El Cuervo, El Palmar de Troya, El Coronil, Osuna, Puente Genil y en especial Montellano.

La analítica refleja contenidos en paligorskita que superan el 25-30% sobre muestra total. El material de visu es muy similar al que aparece en una mina activa a cielo abierto, propiedad de TOLSA, y que está situada en las inmediaciones de El Cuervo (Sevilla).

Dadas las grandes aplicaciones que estos materiales tienen industrialmente, la existencia de un antecedente importante como es la explotación, tratamiento y comercialización de estas sustancias en la zona, así como haber reconocido áreas potencialmente comparables a la que se explota en El Cuervo (Sevilla), hacen de esta Unidad un objetivo de primera magnitud en actuaciones futuras.

Como áreas prioritarias a investigar en un futuro, por sus características mineralógicas, extensión areal y potencia destacan: La Lantejuela-Osuna, El Coronil-Montellano y El Palmar de Troya, sin menospreciar otras por falta de datos de observación en

la actualidad.

2.3.2.6 Unidad de edad Villafranquiense (Plio-Cuaternario) (19)

El área cartográfica que ocupa es muy extensa. Está representada desde Ecija hasta Huelva.

La constituye un conjunto de gravas, arenas y limos rojos, cuyos cantos además de ser extremadamente redondeados, son cuarcíticos y proceden de la Meseta.

En muchos puntos estos materiales se han interpretado como terrazas del Río Guadalquivir o bien de sus afluentes y en otros como rañas. En general no sobrepasan los 40 m de espesor. En la actualidad se interpretan estos sedimentos como el último relleno clástico de la Depresión. Su origen no está definido por la mala calidad de sus afloramientos. Por consiguiente se mantiene la duda si son depósitos litorales, fluviales o bien tienen una génesis mixta.

Las posibles aplicaciones en el plano industrial pueden relacionarse con la explotación de áridos para firmes viales, como así lo ponen de manifiesto algunas canteras activas.

2.3.2.7 Unidades cuaternarias

Están distribuidas irregularmente por toda la Depresión del Guadalquivir, adquiriendo su máximo desarrollo cartográfico en las inmediaciones del Golfo de Cádiz.

Se consideran conjuntamente por apenas tener un interés marcado desde un punto de vista económico. Sólo cabe destacar que son las áreas potencialmente más agrícolas.

Dentro de estas se engloban sedimentos aluviales y coluviales, formaciones de suelos, derrubios o glacis en general y todas las áreas de marisma.

3. SUSTANCIAS DE INTERES INDUSTRIAL INVESTIGADAS

3. SUSTANCIAS DE INTERES INDUSTRIAL INVESTIGADAS

Las sustancias de interés industrial investigadas en el curso del Proyecto, son arcillas cerámicas, arenas silíceas, diatomitas y arcillas especiales (sepiolita/paligorskita). Cada una de ellas lleva un tratamiento independiente, donde se especifican entre otras cosas: la información previa existente, la metodología utilizada para su estudio, características generales y analítica y valoración industrial y económica para cada sustancia.

3.1 ARCILLAS CERAMICAS

Están muy extendidas por toda la Cuenca del Guadalquivir, sobre ellas se localizan numerosas explotaciones, donde se fabrican productos cerámicos que se comercializan a todo el territorio nacional.

3.1.1 Antecedentes

Son numerosas las publicaciones y estudios monográficos existentes sobre arcillas cerámicas en la Cuenca del Guadalquivir. Existe también un gran número de publicaciones sobre caracterización y tecnología de materiales cerámicos en general; entre las que caben destacar las publicaciones periódicas y puntuales de la Sociedad Española de Cerámicas, y la revista Química e Industria.

Como estudio monográfico es de destacar el realizado por el IGME en 1.982: "Investigación geológica y tecnológica de Arcillas en Andalucía". En él se realiza un estudio geológico previo de las unidades arcillosas, y se seleccionan áreas de interés por su contenido en arcillas cerámicas. A continuación se realiza un inventario y desmuestre de yacimientos (canteras), y una caracterización geológica y tecnológica de las muestras recogidas. Por último se

hace un estudio del sector cerámico en las principales áreas seleccionadas.

Entre las publicaciones periódicas son de destacar las de GARCIA RAMOS, G.; GONZALEZ GARCIA, F. y PEREZ RODRIGUEZ, J.L.; que realizaron bajo el título genérico de "ARCILLAS CERAMICAS DE ANDALUCIA" entre 1.964 y 1.971. Se trata de 9 publicaciones monográficas sobre las siguientes áreas: Vegas del Guadalquivir y Corbones (Sevilla); la Campiña (Sevilla); Yacimientos terciarios de la Margen Derecha del Guadalquivir (Sevilla); Yacimientos terciarios de la Campiña (Córdoba); Yacimientos ígneos y sedimentarios de la Provincia de Huelva; Yacimientos terciarios y cuaternarios de la Provincia de Huelva (Comarca de Huelva y el Condado); Yacimientos terciarios y de las Márgenes del Guadalquivir en la provincia de Córdoba; Yacimientos terciarios de la Campiña y costa Occidental de la provincia de Cádiz y Yacimientos terciarios de la región del Campo de Gibraltar (Cádiz).

En cada uno de estos trabajos se efectúan análisis de caracterización y tecnológicos (químico, capacidad de cambio, análisis térmico ponderal y diferencial, difracción de rayos-x, agua de moldeo, análisis mecánicos, plasticidad, porosidad, secado a 50°C, contracción por calcinación, densidad real y

aparente y resistencia a la compresión en probetas cocidas a 900°C), sobre una o dos decenas de muestras. Se concluye, con la caracterización mineralógica, textural y tecnológica de las mismas.

Desde el punto de vista tecnológico se han recogido publicaciones sobre prescripciones de mercado, y normas internacionales de calidad de los productos.

Se han utilizado asímismo como antecedentes, los datos geológicos previos sobre el área a investigar (básicamente las cartografías del Plan MAGNA), y los referentes a industrias transformadoras existentes en el ámbito de la Cuenca.

3.1.2 Metodología del estudio

Como fase preliminar del estudio se ha recopilado y analizado la documentación existente sobre el sector cerámico en la Cuenca del Guadalquivir. Los resultados de esta fase son los expuestos en el apartado anterior.

A continuación, se ha realizado una síntesis geológica de la cuenca, tomando como base las cartografías del plan MAGNA, y datos internos de INGEMISA sobre el área de estudio. Como conclusión se ha

elaborado el mapa geológico nº 1 donde se han individualizado diversas unidades geológicas.

Todas las unidades geológicas descritas en el apartado de geología, son potencialmente interesantes desde el punto de vista de arcillas cerámicas.

Una vez seleccionadas las unidades a investigar se han programado, sobre la base de las cartografías a escala 1:50.000, itinerarios de campo destinados a reconocer y muestrear los materiales. Se han realizado itinerarios minuciosos, de forma que se han recorrido todas las carreteras y caminos trazados sobre afloramientos de las unidades de interés. En los puntos de mejor exposición, se ha procedido a la toma de datos geológicos y estratigráficos y a la recogida de muestras. Durante estos itinerarios se han visitado todas la canteras e industrias existentes sobre materiales cerámicos.

Los datos elaborados se han recogido en fichas estandard del "Archivo Nacional de Rocas y Minerales Industriales", que figuran anexas al presente informe.

Las fichas incluyen los resultados de la analítica realizada, esquemas geológicos y geográficos, comentarios y observaciones. Existe también una

documentación fotográfica de numerosos yacimientos.

3.1.3 Características generales y analítica

La gran mayoría de los sedimentos que rellenan la Cuenca del Guadalquivir, están constituidos por margas y arcillas margosas. Estos materiales son apropiados para la fabricación de elementos cerámicos de construcción (ladrillos, bovedillas y tejas).

La totalidad de los materiales margosos que constituyen las unidades del Mioceno Superior a Plioceno, son válidos para la fabricación de elementos cerámicos de construcción. Solo hay que hacer excepción de los niveles detríticos que pueden intercalar. Los niveles de poca potencia de limos o arenas arcillosas son también aprovechados industrialmente: bien para su uso directo, bien como aditivo de materiales más arcillosos.

El hecho de que exista abundancia de materiales arcillosos en cualquier unidad del Mioceno Superior y Plioceno, hace que la distribución de centros productores se sitúe de acuerdo con los accesos fáciles, buenas comunicaciones, proximidad a núcleos urbanos importantes, etc.

Sólo en contadas ocasiones se ha cerrado alguna cantera por presentar problemas de tipo tecnológico del material, en el procesado industrial. Apesar de ello los problemas se podían haber resuelto con seguridad, realizando un ajuste del procesado (cantidad de agua en la mezcla amasadora, luz de molienda, temperatura y velocidad de avance del secado y cocción, etc.).

Los resultados de la analítica realizada se pueden observar en las figuras 12, 13 y 14 (diagramas de Casagrande). Se ha utilizado un diagrama para las margas gris-azuladas, otro para las margas blancas y otro para otros materiales arcillosos de distinta coloración. En cada uno de ellos se han diferenciado las muestras procedentes de afloramientos naturales (indicio), canteras de explotación y material procedente del tren de procesado de las industrias.

En todos los casos las muestras se alinean en una banda que atraviesa las áreas de "comportamiento ideal ante la extrusión y secado/cocción", y las sobrepasa por los dos lados (arcillas muy arenosas -área izquierda- y muy puras -área derecha-).

Por otra parte no existe diferencia entre los campos ocupados por muestras procedentes de afloramien-

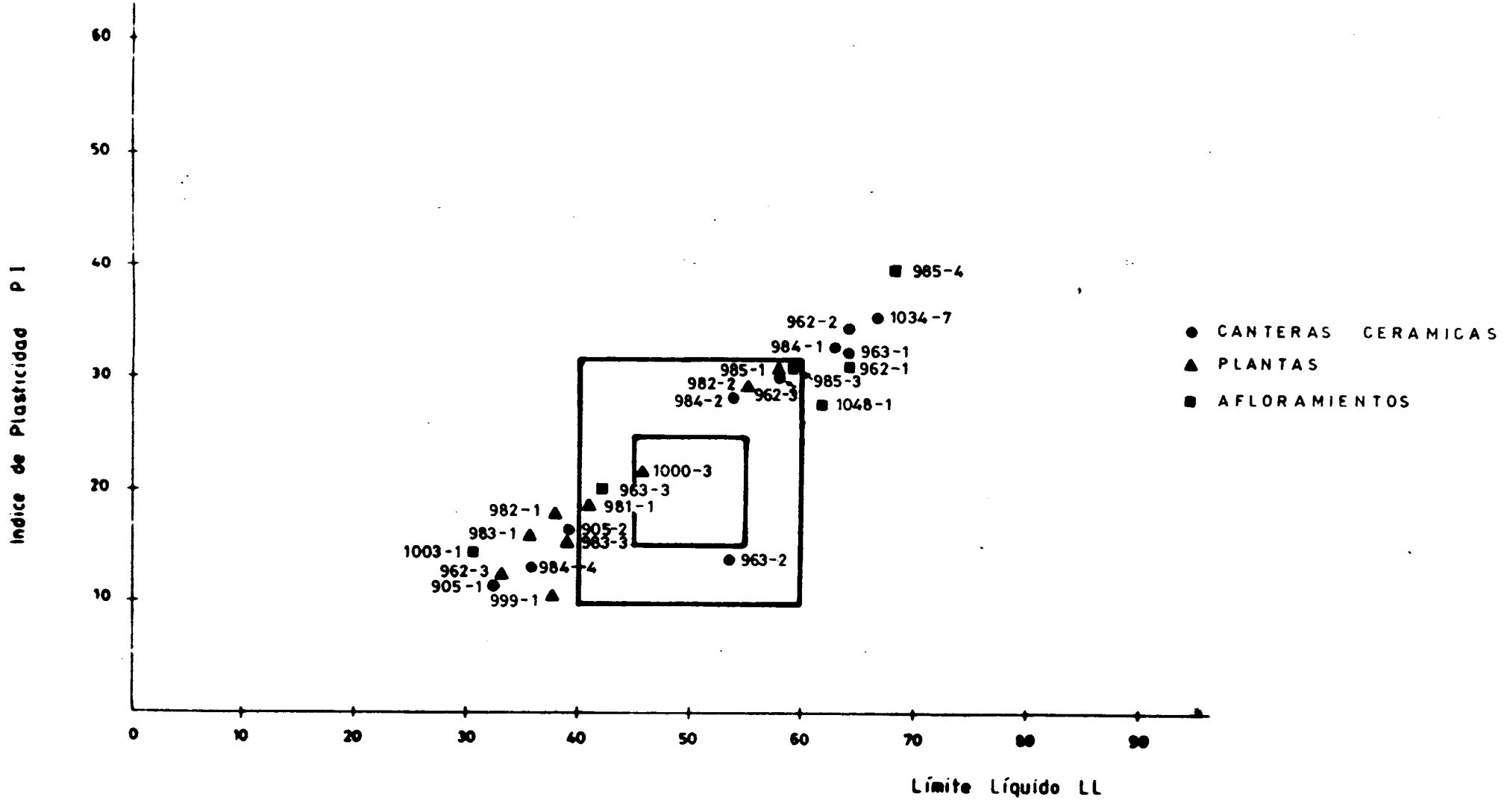


Fig. 12 Diagrama de Casagrande para la caracterización de arcillas cerámicas. MARGAS GRIS-AZULADAS

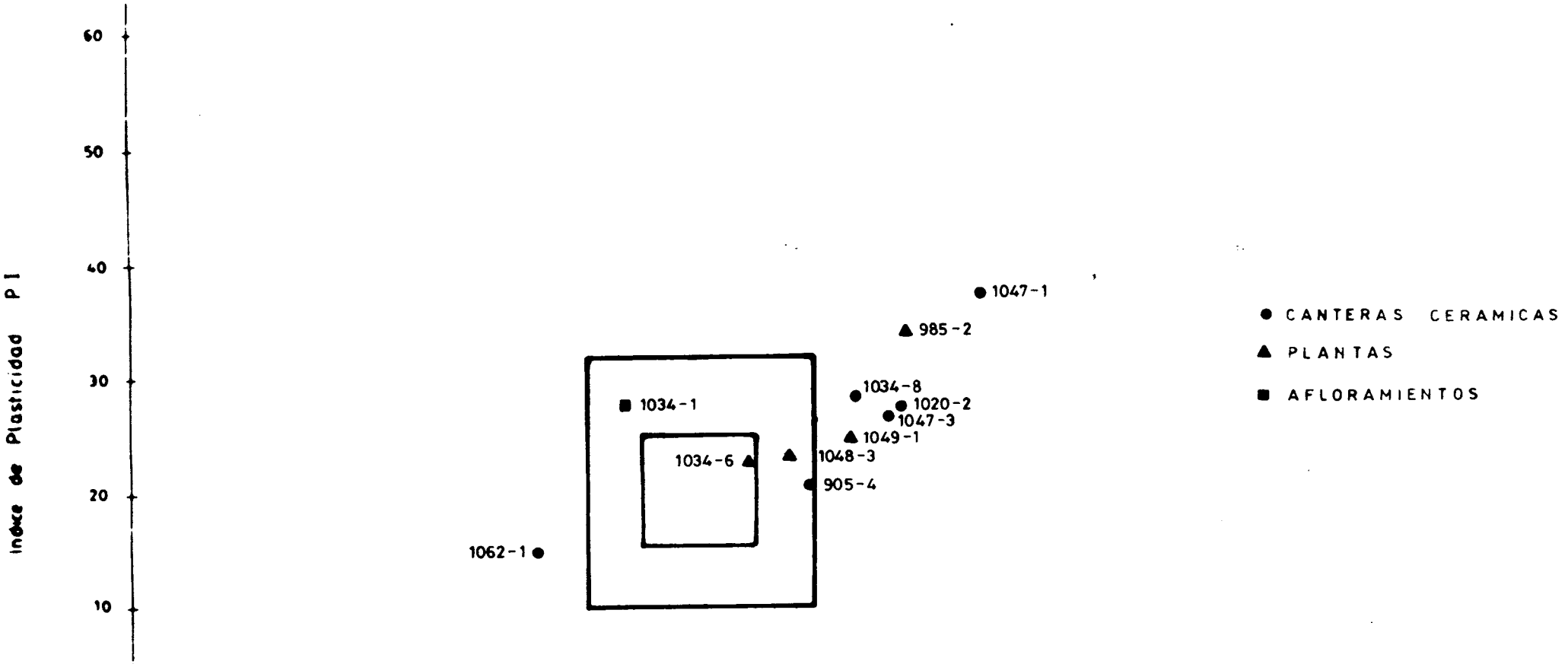


Fig. 13 Diagrama de Casagrande para la caracterización de arcillas cerámicas. MARGAS BLANCAS

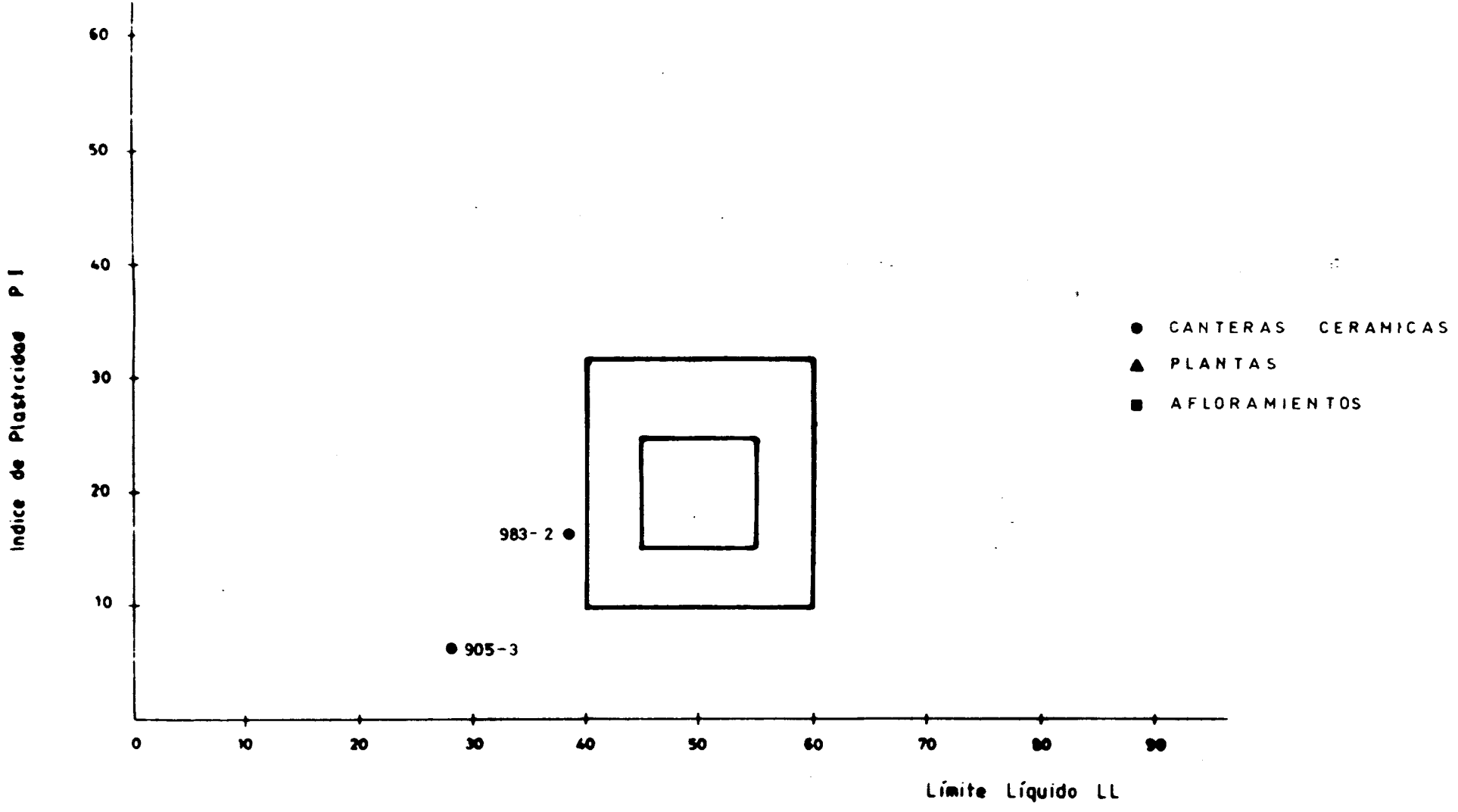


Fig. 14 Diagrama de Casagrande para la caracterización de arcillas cerámicas. OTROS MATERIALES ARCILLOSOS

tos y de canteras. Lo que es consecuencia directa de la ausencia de criterios geológicos a la hora de prospectar nuevos yacimientos. Tampoco hay diferencia entre la situación de muestras procedentes de su estado natural (afloramientos y canteras) y las procedentes de las plantas de procesado (en gran parte de las cuales se realizan mezclas de diferentes materiales.

Esto indica claramente que las mezclas industriales no consiguen mejorar el comportamiento tecnológico del material, salvo en casos extremos en que alguno de los componentes de las mezclas, tuviese en origen unas características muy alejadas de los campos de comportamiento ideal. Este hecho no es normal, ya que no se ha dado esta situación en ninguna de las muestras naturales analizadas.

A pesar de lo expuesto anteriormente, parece que sería conveniente y beneficioso para la industria existente, realizar un control geológico del material de cantera, y utilizar criterios estratigráficos prospectivos para la ubicación de las mismas. El método sería simple: bien sobre canteras de nueva apertura, o sobre las ya existentes. Se muestrearían y caracterizarían tecnológicamente los materiales de diferentes horizontes estratigráficos, y de mezclas de los mismos.

La finalidad del proceso sería establecer la fórmula porcentual de la mezcla mejor caracterizada, y realizar una explotación selectiva de los diferentes niveles, que se mezclarían en las proporciones más adecuadas. Utilizando este método se reducirían sin duda las pérdidas de material y productos, tanto por problemas de extrusión, como de agrietamientos y roturas en el secado y cocción.

Aunque estos problemas no son acuciantes en ninguna de las industrias de la región, si están presentes en una parte importante de ellas, y son motivo de inquietud en los técnicos que las dirigen.

Como conclusión general se puede establecer que dentro de la Cuenca del Guadalquivir existen ingentes reservas de materiales arcillosos y margosos, aptos para la fabricación de elementos cerámicos de construcción (más del 60% del volumen de sedimentos de relleno).

Estos materiales no presentan una distribución areal de calidades, dada la extrema homogeneidad litológica de las unidades que los comportan. En base a ello no existe un criterio de selección y prospección geológica, a gran escala, que delimite áreas de interés (todas lo tienen). A menor escala (de cantera o área

reducida), si sería conveniente aplicar criterios geológicos para obtener un producto de comportamiento idóneo ante el proceso industrial (caracterización de diferentes niveles estratigráficos, y obtención mediante mezcla de ellos de un producto de alimentación de las plantas con las mejores características tecnológicas posibles).

3.1.4 Valoración de las arcillas cerámicas y estudio del sector industrial

La industria cerámica de la Cuenca del Guadalquivir tiene su producción limitada a la fabricación de elementos de construcción (ladrillos en sentido amplio). No existe industria de fabricación de cerámicas de alta tecnología (porcelana y vidriados), por carecer de materias primas para la misma (no se conocen en la actualidad depósitos de arcillas alumínicas en el ámbito de la Cuenca).

La mayor parte de las industrias son pequeñas empresas diseminadas por toda la superficie de la Cuenca. Algunas se agrupan en núcleos de producción, entre los que destaca Bailén, y otros menores como La Puebla de Cazalla y Puente Genil.

El proceso de fabricación es idéntico en todas

las industrias. La única diferencia es el grado de automatismo, que está desarrollado en tan sólo 4 ó 5 industrias mayores. En la figura 15 se ha representado de forma esquemática dicho proceso de fabricación, que consta de forma genérica de los siguientes pasos:

- Previo al procesado industrial, se realiza la extracción de las materias primas (en canteras a cielo abierto). Generalmente se mezclan materiales de distinta procedencia y distinta caracterización tecnológica. Así se obtiene una mezcla de arcillas, con la que se alimenta el primer paso de la cadena de fabricación. Sobre las características de las explotaciones y la mezcla de materiales, se ha hablado en el epígrafe anterior.

- Molienda. Las mezclas se realizan y se acopian en tolvas de carga, de donde pasan a uno o varios molinos. El último o el único de estos molinos es siempre un laminador (rodillos), con luz final de 1-6 mm. Puede haber molinos previos de mayor luz, bien laminadores o de aspas.

- Amasado. El material que se alimenta una vez molido, se le añade agua en una proporción variable, en función del grado de humedad de origen. Se amasa en una o varias mesas de

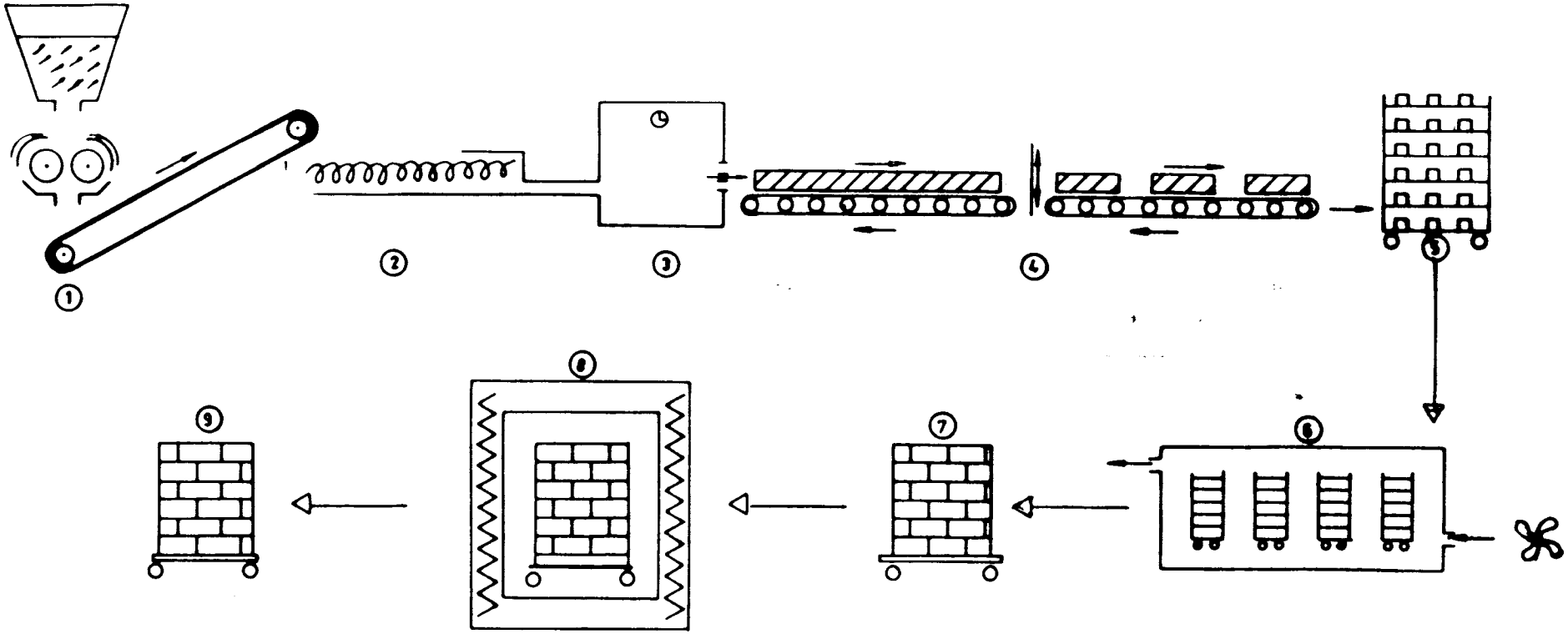


Fig. 15

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA FABRICA DE LADRILLOS

① MOLIENDA

② AMASADO

③ EXTRUSION (camara de vacio)

④ CORTE

⑤ CARGA EN VAGONETAS

⑥ SECADERO

⑦ APILAMIENTO SOBRE VAGONETAS O PALETS

⑧ HORNO DE COCCION

⑨ ALMACENAJE

amasado accionadas por un tornillo sinfín. El producto final es una pasta (barro) viscosa y moldeable.

- Extrusión. El producto de la amasadora es inyectado a través de un circuito estanque en una cámara de vacio. De esta manera se impide el fenómeno de burbujas y se mantiene el barro a presión. La cámara de vacio tiene una salida de barro a presión. Es una puerta perforada por la que se produce la extrusión. Existen varios modelos de ranurado de esta puerta, intercambiables, para la fabricación de diferentes morfologías de ladrillos (hueco simple, hueco doble, gafas, etc.).

  El producto final de la extrusión es un "chorizo" continuo de cada tipo de ladrillo. Desde el orificio de extrusión pasa a una mesa transportadora que lo conduce a la máquina de corte.

- Corte. Se realiza con un cable de acero sujeto a un bastidor, con movimiento de vaivén vertical, perpendicular al avance de la mesa transportadora.

Las 4 operaciones descritas hasta aquí se realizan de la misma forma y con idéntica maquinaria en

todas las industrias de la cuenca.

- Carga en vagonetas. Los ladrillos perfectamente conformados y cortados, pero aún en crudo húmedo, se cargan en vagonetas para ser trasladados al secadero. El hecho de estar aún en crudo húmedo impide el apilamiento de unidades (se deformarían). Las vagonetas son metálicas, del tipo de las de los hornos de panadería, y la carga se realiza en bandejas de una sola capa de ladrillos. En la mayor parte de las industrias esta carga se hace de forma manual, con la consiguiente inversión de mano de obra, y pérdida de material por deformación durante el manipulado. En las 8 ó 10 industrias mayores de la Cuenca, este proceso se realiza de forma automática, mediante mesas transportadoras que cargan los ladrillos en bandejas, y éstas a su vez van a las vagonetas de secadero.

- Secadero. La mayor parte de las industrias realizan el proceso de secado al aire libre. No obstante durante los meses húmedos esta operación no se puede realizar. Hay un número considerable de fábricas que paran la producción en este tiempo. La mayor parte dispone de un secadero cubierto, y normalmente

de una cámara secadero cerrada con circulación de aire caliente. En unos casos el aire se calienta con lumbre de leña, y en otros se toma directamente del horno de cocción. Las industrias automatizadas, con horno de túnel contínuo, tienen también el transporte y paso por secadero automáticos y siempre con toma de aire caliente del horno.

Los secaderos al aire libre requieren de un mínimo de una semana de permanencia de los ladrillos (en función de las condiciones meteorológicas). En los secaderos por aire caliente la permanencia media es de 48 horas.

- Apilamiento sobre vagonetas o palets. A la salida del secadero las piezas tienen consistencia suficiente como para permitir un apilamiento autosoportado (hasta 50 superpuestos). Se procede entonces a la descarga de las vagonetas de secadero, y el apilamiento en vagonetas para el horno (hornos túnel contínuos) o en palets de carretillas elevadoras (hornos tradicionales).

- Cocción. Es el paso de mayor importancia y complejidad de todo el proceso de fabricación, ya que de él van a depender las características de los productos (compacidad y

resistencia). Se debe realizar bajo condiciones precisas para evitar fisuración y rotura de las piezas. La temperatura en cada elemento de cocción (palet o vagoneta), debe crecer hasta la temperatura máxima y disminuir hasta la de ambiente (salida del secadero), de forma paulatina y gradual (campana de Gauss temperatura-tiempo). La temperatura máxima de cocción debe estar fijada entre límites precisos (variación de unas decenas de grados), entre los 800 y 1.050°. La aplicación de calor se debe repartir de la forma más homogénea posible, por todo el volumen de las unidades de carga (vagonetas o palets).

Existen dos tipos de hornos: el horno fijo tradicional y el horno túnel contínuo. El primero es del que dispone la mayor parte de las industrias, mientras que el "túnel" sólo existe en las 8 ó 10 más tecnificadas.

• Horno tradicional fijo. Se trata de una bóveda de cañón con la sección suficiente para permitir la entrada y salida de las carretillas con los palets, y de longitud variable entre 30-40 y 100 m. Los muros son de material refractario (ladrillos), y de un espesor del orden de 1 m. Sus dos extremos son puertas que se cierran para cada cocción de la

forma más hermética y aislada (térmicamente) posible. En unos casos son puertas metálicas con cámara de aire y en otros el hueco se tapa con obra de mampostería.

Toda la longitud del túnel se carga con palets de ladrillos y se cierran las puertas. El combustible es siempre materia orgánica: carbón vegetal, astillas y serrín de madera, cáscaras de pipas, etc. Se enciende la lumbre en uno de los extremos del túnel, y se va haciendo avanzar el área de ignición de forma paulatina hasta el otro extremo. La carga de combustible se realiza por trampillas situadas en el techo de la bóveda (3 ó 4 en cada sección transversal, con un espaciado de 1 ó 2 metros entre sección y sección).

De esta manera, y de forma totalmente artesanal, se hace acercar la curva de temperaturas, lo mejor posible, a la campana de Gauss teórica. Al mismo tiempo se reparte el fuego de la forma más homogénea posible por todo el volumen del sector en ignición (el combustible está formado siempre por pequeñas partículas, que se desparraman desde la trampilla de alimentación, por todo el volumen del horno). Esto siempre es de forma muy aproximada; por otra parte el calentamiento de

los ladrillos en el extremo en que comienza la ignición es siempre muy rápido. Normalmente se obtiene una calidad diferente en la cocción de unos palets y otros, e incluso en sectores dentro del mismo palet, que se manifiesta en diferencias de las características físicas de los productos (color, resistencia, etc.).

La duración de cada procesado de cocción varía entre 24 y 48 horas.

• Horno túnel contínuo. Se trata de estructuras cerradas (túneles) de las mismas dimensiones que los hornos tradicionales, construidas con estructuras metálicas. Tienen un sistema de railes por el que se desplazan las vagonetas de cocción con un movimiento contínuo. La ignición se produce hacia la mitad del horno túnel, en un sector reducido y siempre fijo del mismo. El fuego se reparte de forma homogénea en todo el volúmen de la zona de cocción, por reparto proporcional de boquillas quemadoras. El combustible suele ser fuel-oil. El calentamiento y enfriamiento de los ladrillos se produce de una forma contínua y constante (campana de Gauss). La temperatura de cocción se puede controlar al grado centígrado, ya que existen puntos de medida en

todo el recorrido del horno. Desde la sala de mandos se puede regular la circulación de aire y la cantidad de calor aplicada (mayor o menor inyección de combustible).

La cocción de los palets se realiza de una forma totalmente homogénea, con lo que se homogeneiza la calidad de los productos finales.

Las principales ventajas de los hornos túnel son: la disminución de mano de obra, el aumento en la productividad, y la homogeneización en la calidad de los productos.

- almacenaje. Una vez fuera de los hornos de cocción se apilan los ladrillos sobre palets, para su comercialización (1.000-2.000 piezas por unidad de carga). Estos palets pueden ir al descubierto, o, en gran parte de los casos, empaquetados en plástico.

El proceso descrito se refiere a la fabricación de ladrillos huecos, que constituyen la práctica totalidad de la industria de la Cuenca. Además de estos productos existe un núcleo de fabricación de ladrillos macizos, en S. Juan de Aznalfarache; una fábrica del mismo tipo en La Palma del Condado; y dos

fábricas de plaquetas para rodapiés, terrazos y soporte de azulejos vidriados, en Bonares.

La diferencia de procesado respecto al anterior se refiere al modelado de las piezas. En este caso no es por extrusión, sino por prensado en molde (automático o de carga manual). El resto de operaciones son iguales a las descritas.

Merece especial atención la cerámica artesana de S. Juan de Aznalfarache. Se trata de 8 ó 9 pequeñas industrias de tradición secular, que fabrican ladrillo macizo artesano (el de las edificaciones tradicionales de Sevilla, como La Giralda).

Son pequeños talleres de tipo familiar (con sólo 1-3 operarios). Tienen una producción muy limitada (1.000-2.000 ladrillos/día, durante 5-6 meses al año). El trabajo se desarrolla en condiciones ilegales (sin ningún tipo de licencia) y de carácter totalmente subindustrial. Las piezas fabricadas son de una gran belleza, y tienen el valor de "lo artesano". El precio de mercado es algo superior al del ladrillo convencional (sobre 15 R/pieza).

La explotación de los barros se realiza mediante rapiña en canteras ajenas, o en zonas no decla-

radas como cantera. El barro es transportado a las "plantas", donde se realiza un amasado artesano (mediante pisoteo a pies descalzos), con adición de agua y materia vegetal (normalmente cáscara de arroz -adobe-).

El modelado de los ladrillos se realiza a mano, directamente sobre el suelo, por relleno de un bastidor de madera con hueco para dos ladrillos. Se extiende una capa de ladrillos en unas decenas de m^2 de superficie (entre 1.000 y 3.000 piezas), y se dejan secar al sol durante 1 ó 2 días.

Una vez secos se apilan sobre las ruinas de antiguos hornos árabes, que son muy abundantes en esta zona. Los hornos se encienden con leña de recolección y se produce una cocción irregular, que da como resultado unos ladrillos rojos (de las zonas externas de los atrojes de carga del horno), y otros blancos procedentes del núcleo de los mismos.

La continuidad de esta industria artesana se encuentra en un grave peligro en el momento actual, ya que los terrenos suburbiales en los que se desarrolla la actividad, se van a destinar a áreas de esparcimiento urbano, según el Proyecto Municipal para 1.992. En el momento en que se vayan a comenzar las obras, y se erradique a los artesanos, que no tienen derechos sobre

los terrenos ni licencia industrial sobre su actividad, se habrá acabado con esta producción. Ello supondrá un problema social importante (varias decenas de operarios), y una gran pérdida para la industria ladrillera. Por otra parte el problema se podía resolver si por parte de la administración se subvencionara o ayudara de alguna manera a la creación de una pequeña área industrial en la que proseguir la actividad. Los propietarios de estas "fábricas" se manifiestan dispuestos a ello, pero desconocen los cauces y mecanismos de tramitación (en algunos casos son personas analfabetas).

En las proximidades de estos asentamientos existe una industria bien instalada: CERAMICA ROISA, S.A.. Se dedica también a la fabricación de ladrillo macizo tradicional. Se trata de una industria bien equipada, aunque mantienen el horno árabe de leña. Dispone para el moldeado de una prensa automática y otra manual. Fabrican diferentes tipos de ladrillos y piezas cerámicas macizas, y han tenido la oportunidad de desarrollarse para abastecer la demanda creada con motivo de las obras de restauración de monumentos históricos de Sevilla (como la Plaza de España). En la actualidad el 80% de su producción se exporta a IRAK, en barco desde el Puerto de Sevilla. Se trata, sin duda, de los únicos industriales del sector presentes en el

mercado de exportación internacional. Su secreto parece haber sido el haber industrializado la fabricación de piezas de construcción tradicionales y artesanas, que resultan de gran belleza, y que en la sociedad industrial actual han sido sustituidas por el hormigón armado.

Por lo que respecta a produciones, la media de las industrias de la región oscila entre 20 y 30.000 ladrillos/día. Las grandes industrias automatizadas producen diariamente entre 100 y 200.000 piezas.

Por otro lado una parte de las pequeñas industrias tienen un funcionamiento temporal (cierran durante los meses de invierno), mientras el resto, incluyendo todas las grandes, tienen un funcionamiento ininterrumpido durante todo el año.

La producción total del sector es muy superior al consumo regional, por lo que los productos son exportados fuera de la región. El principal núcleo productor es, con diferencia, Bailén; con una producción media anual del orden de 2.000.000 de toneladas de producto acabado. El resto de industrias de la Cuenca tienen una producción globalizada del mismo orden, o algo superior a la de Bailén. Desde la Cuenca del Guadalquivir se abastece la mayor parte del mercado

ladrillero de Andalucía, Extremadura, Murcia, Albacete y Ciudad Real. Este hecho supone un aumento importante en el coste de los productos en los puntos de destino alejados.

Dado que el precio de la tonelada es del orden de 8.000 R, el transporte a distancias superiores a los 200 km, supone un incremento aproximado del 50% en el precio.

En base a los datos anteriores el volumen anual de mercado del sector es del orden de 35-40.000 millones de pesetas.

Como conclusión general del estudio hay que destacar la existencia dentro de la Cuenca de unas reservas más que importantes de material arcilloso válido para la fabricación de elementos cerámicos de construcción. Tanto el mercado interno como una gran parte del de las regiones limítrofes, está satisfecho con la producción actual. En base a ello a la hora de plantear la creación de nuevas industrias habría que pensar: o bien en competir con las ya existentes (lo que no es un buen punto de partida para una nueva actividad); o en abastecer un mercado lejano, que tampoco es recomendable dado el bajo precio de los productos y la gran influencia que en su coste tiene el

transporte.

De cara a mejorar el sistema de producción sería conveniente, como se ha indicado más arriba, realizar una prospección geológica para la ubicación de canteras y una explotación selectiva de diferentes horizontes estratigráficos. A continuación se mezclaría el material de diferentes procedencias, para obtener un barro de alimentación homogéneo y de las mejores características para el procesado. Para este fín sería muy recomendable la creación de mancomunidades de explotación, entre industriales geográficamente cercanos, con explotación conjunta de canteras en las condiciones más adecuadas.

En este sentido es de destacar la experiencia de la asociación "COMERCIAL CERAMICAS DE BAILEN, S.A.", que reune a más de la mitad de los productores del núcleo industrial, y que explota canteras comunes ubicadas en los 4 materiales que abastecen la industria local. Esta sociedad dispone de una planta de molienda primaria y almacenaje a granel, de la que se abastece cada industria. La mayor parte de ellas retira una mezcla de productos de las distintas procedencias; otros retiran por separado cada tipo de material, y realizan de forma particular, las mezclas que consideran más convenientes.

Señalar, por último, la conveniencia de tomar algún tipo de medida, desde la administración, de cara a conservar la tradición artesana de fabricación de ladrillo macizo, de S. Juan de Aznalfarache (Sevilla).

3.2 ARENAS SILICEAS

Las arenas silíceas tienen una aplicación en el campo industrial amplia y variada. Suelen considerarse como materia prima cuando presentan contenidos en SiO_2, superiores al 80%.

De acuerdo con la aplicación concreta en un tipo u otro de industria, se le exigirá una calidad determinada, que irá en función de su mineralogía y de sus propiedades físico-químicas como son: dureza, porosidad, granulometría y resistencia térmico-mecánica.

Las arenas silíceas normalmente forman parte de las rocas sedimentarias, rocas ampliamente extendidas en toda la Depresión del Guadalquivir. Sin embargo pocas son las explotaciones de estos materiales en este sector, y se restringen a una parte de la Provincia de Cádiz (Arcos de la Frontera).

3.2.1 Datos previos

Actualmente la industria tiende a utilizar cada vez más las arenas silíceas en función de las ventajas que presentan, frente a otras materias primas naturales.

La composición química de determinadas arenas silíceas es determinante para su utilización en:

- Electrónica y óptica. Para la fabricación de fibras ópticas. Cuando un impulso eléctrico adecuado incide en una lámina de cuarzo, seccionada de acuerdo con un determinado plano cristalográfico éste vibra, produciendo un efecto piezoeléctrico.

- Vidrios. La sílice para fabricar vidrios se obtiene normalmente de arenas silíceas naturales. Los requisitos químicos varían en función del producto final que se desee obtener.

- Cerámica. La adicción de sílice en productos cerámicos especiales proporciona blancura, facilita el secado de la pasta y el producto esmaltado obtenido, evita la rotura y el desconche.

- Fundentes. La sílice de las areniscas o arenas silíceas se utiliza en la fundición de menas metálicas donde los elementos y óxidos básicos son aglutinados como silicatos.

- Moldes de fundición. Es preciso arenas silíceas con más del 85% de SiO_2 para la fundición de Fe y más del 95% para la fundición del acero.

- Revestimientos. Se utilizan junto con el cemento, para la fabricación de cemento cola (PEGOLAN) en la construcción. También para revestir molinos de trituración.

- Abrasivos. Se usan como pulimentadores junto con aire comprimido en la limpieza. También en lijas.

- Filtros. Muy usados actualmente y con gran proyección de futuro.

- Materiales específicos:

  • Ferrosilíceo. Mezcla de cuarzo, hierro y un agente reductor (carbón p.e.). Se usa para la producción de aceros.

  • Silíceo metálico.

  • Carburo de silíceo.

- Explotaciones de petróleo y gas natural. Se bombea a alta presión el fluido con arena silícea para estimular la producción. Cuando el fluido se retira la arena silícea sostiene las cavidades desalojadas por éste.

Ante la importancia de estos materiales por sus grandes aplicaciones industriales, se abre un campo amplio de espectativas dada la abundancia de arenas silíceas en el marco de la Depresión del Guadalquivir.

En la actualidad no existen antecedentes bibliográficos sobre caracterización de arenas silíceas en la Cuenca del Guadalquivir. En 1.981, el IGME realizó un trabajo de investigación "Evaluación del potencial de diatomitas y albero de la Cuenca del Guadalquivir", en el que se abordó el estudio de unidades arenosas. Sin embargo, se trató de areniscas calcáreas y calcarenitas (albero), que por su elevado contenido en carbonatos no se pueden considerar bajo el punto de vista de arenas silíceas.

Como único antecedente sobre estos materiales está la existencia de varias fábricas (plantas de lavado) de arenas silíceas, en el sector sur-occidental de la cuenca.

3.2.2 Metodología de estudio

En primer lugar se ha consultado la bibliografía más reciente concerniente a los yacimientos de arenas silíceas, su caracterización y sus aplicaciones industriales. Este aspecto ha sido de gran utilidad puesto que se ha conocido de forma detallada las espectativas socio-económicas que pueden implicar estos depósitos tan abundantes en el sector estudiado.

También se ha realizado una síntesis geológica con cartografía incluida, de aquellas áreas que no había información previa (plano nº 1). Sobre esta síntesis se han agrupado los distintos afloramientos por unidades geológicas concretas, de manera que haya criterios de prospección en áreas a investigar en un futuro. En base a lo anteriormente expuesto, se ha elaborado un plano donde quedan delimitadas las áreas favorables y de mayor acumulación de estas sustancias (plano nº 2).

Para llevar a cabo el diseño de estos planos ha sido necesario efectuar numerosos itinerarios de campo destinados a reconocer de forma exhaustiva los afloramientos de las unidades seleccionadas. Sobre estos afloramientos se ha realizado un muestreo para caracterización analítica de los niveles de arenas que presentaban "de visu" una composición más silícea.

La analítica de caracterización ha consistido en la realización de determinación química de contenidos en: SiO_2, Fe_2O_3 y Al_2O_3.

Al mismo tiempo se han visitado las plantas industriales de arenas silíceas existentes en el área de estudio. La finalidad de estas visitas ha sido estudiar los yacimientos explotados, muestrear los materiales de cantera y los productos finales. De esta forma se constacta directamente la composición química antes y después del tratamiento. Se han tomado datos sobre producciones, mercado y precios, así como un análisis detallado del procesado industrial empleado en cada caso.

Una vez terminadas las fases anteriores sobre los datos obtenidos, se han extraido las conclusiones y recomendaciones derivadas de ellas.

3.2.3 Características generales y analítica

Prácticamente todas las unidades geológicas del Mioceno Medio-Superior (Serravalliense-Messiniense) y las del Plioceno, llevan asociadas importantes acumulaciones de arenas silíceas. Este hecho reseñado, la extensión geográfica de las mismas y su espesor considerable, todo ello supone unas reservas de material

muy por encima del mínimo exigible para la implantación de una industria transformadora y productora de estas sustancias.

Desde el punto de vista de la composición química, y, por tanto, de su caracterización industrial, gran parte de las unidades muestreadas son susceptibles de ser tratadas para obtención de arenas silíceas.

Como se verá en el apartado siguiente, las especificaciones de mercado para arenas silíceas exigen un contenido en SiO_2 mínimo del 97%. Los materiales de cantera, no obstante, pueden tener una riqueza en sílice a partir del 80%. Es deseable que el contenido mínimo en cantera sea del 90%, pero se pueden lavar arenas de hasta un 75%.

Más de la mitad de las muestras tomadas sobre afloramientos en toda la Depresión del Guadalquivir, tienen contenidos en SiO_2 superiores al 90%. Por tanto se pueden caracterizar como material idóneo para la fabricación de arenas silíceas industriales. El resto tienen contenidos superiores al 75%, por lo que son susceptibles de aprovechamiento para la obtención de arenas silíceas, con un tratamiento adecuado.

Además del contenido mínimo en SiO_2, las especificaciones de mercado prescriben unos contenidos máximos en elementos contaminantes. Entre estos destacan el Fe_2O_3 y Al_2O_3, cuyos contenidos máximos no deben rebasar el 0,85 y el 2,5% respectivamente.

Para las arenas silíceas de la Depresión del Guadalquivir, el hierro se encuentra siempre como pátinas de óxidos en la superficie de los granos de cuarzo. La alúmina es un indicador del contenido en minerales formadores de rocas distintos de la sílice.

Dentro de las arenas los minerales contaminantes se encuentran normalmente alterados en forma de arcillas, más raramente se conservan como silicatos de aluminio o feldespatos.

Ambos constituyentes de las arenas (hierro férrico y alúmina), son fácilmente lavados con los procesos de deslamado y separación en medio acuoso (hidroclasificadores e hidrociclones), de que disponen las plantas de lavado.

Según comunicación de los técnicos de dichas plantas nunca han tenido problemas insolubles por contaminación de Fe ó Al. Lo que sí sucede es que a mayor porcentaje de dichos elementos hay que realizar un

procesado más largo del material de cantera, para llegar a un producto final dentro de la normativa comercial (aumentar el número de deslamados y ciclonados).

En base a lo anterior, y por lo que respecta al contenido en hierro y alúmina, todas las arenas muestreadas son susceptibles de transformación en arenas silíceas industriales. Si bien las que tienen los porcentajes más elevados de estos elementos requieren de un procesado más largo hasta alcanzar el producto final.

Como conclusión general hay que destacar la presencia en toda la Cuenca del Guadalquivir (preferentemente en su sector más occidental), de numerosos niveles estratigráficos de litología arenosa, que constituyen yacimientos de arenas susceptibles de transformación en arenas silíceas. En la mayor parte de los casos las reservas de mineral son muy superiores a los mínimos necesarios para la instalación de una planta industrial.

3.2.4 Valoración de las arenas silíceas y su estudio en la Provincia de Cádiz

Las arenas silíceas tienen dos campos básicos de aplicación industrial en la Provincia de Cádiz, fabricación de vidrio y arenas de moldeo para fundición.

En ambos casos se trata de materiales de bajo precio por tonelada (entre 800 y 1.500 R), por lo que no admiten transportes largos para su venta entre los puntos de explotación y las industrias consumidoras. El transporte máximo no es, habitualmente, superior a 150-200 km.

Las prescripciones de mercado para los productos de consumo son las siguientes:

- **Arenas de fundición**

  - Al menos el 97% de los granos debe estar entre 5 tamices sucesivos (tamices nº 6, 12, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 100, 140, 200 y 270; de la norma AFS).

  - El contenido en partículas inferiores a 20 micras, no debe exceder del 4% (arena silícea) o del 0,8% (arena extra silícea).

Para arenas de fundición la composición química debe ser la siguiente:

	SiO_2	Carbonatos (% de CO_2)
arenas silíceas	95%	0,4%
arenas extras silíceas	98%	0,1%

Para arenas de vidrio el tamaño de grano debe estar comprendido entre 100 y 600 micras. En general no debe haber granos mayores de 850 micras (tamiz 20).

- **Arenas de vidrio.** La composición química debe ser:

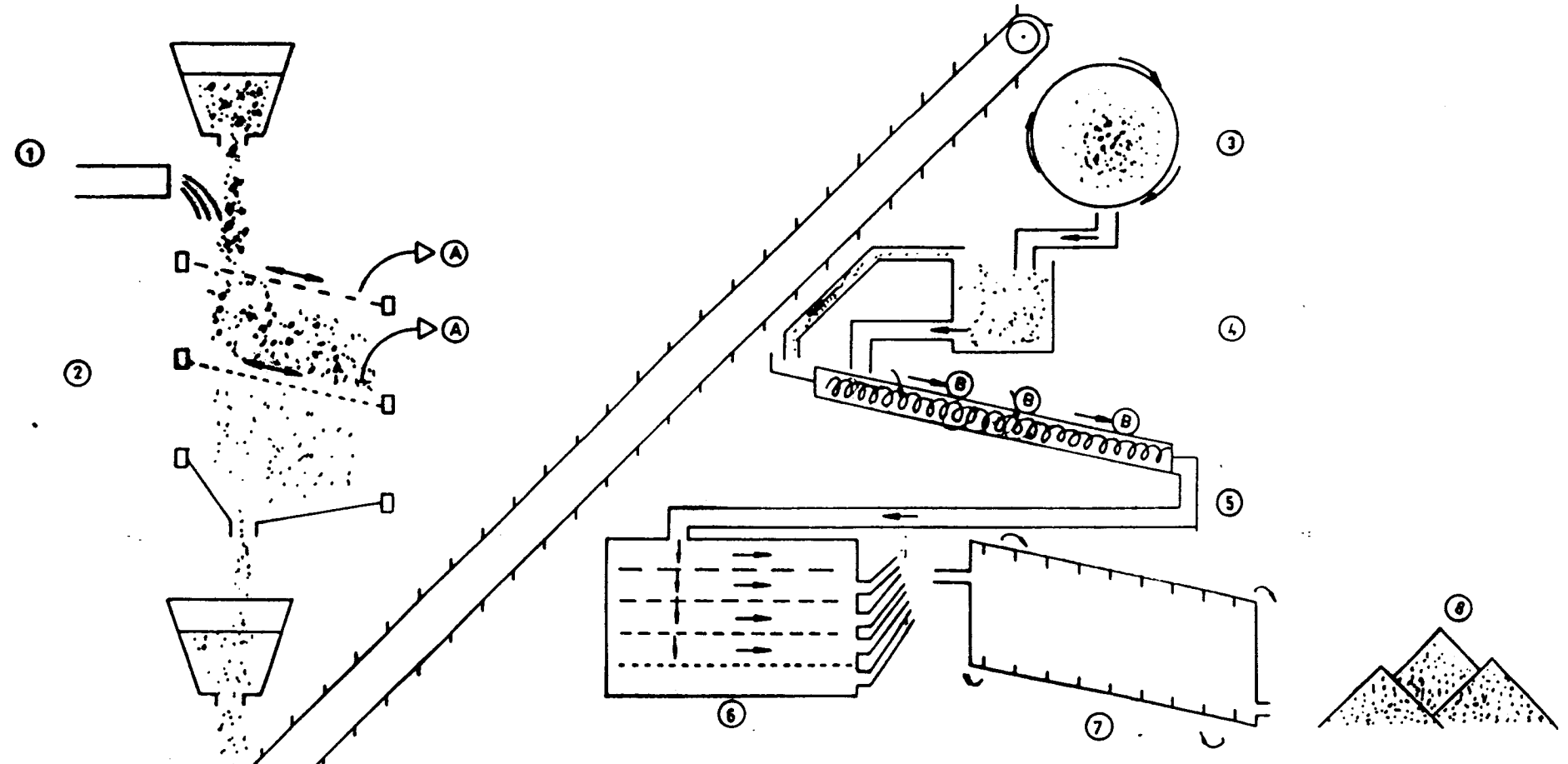
	Vidrios blancos	coloreados	fibra de vidrio
SiO_2	99%	98,5%	98%
Fe_2O_3	0,03%	0,2%	0,3%
Al_2O_3	0,1%	---	---

Dada la estabilidad en el tiempo de las industrias consumidoras de arenas silíceas, y la inversión necesaria para el montaje de una planta de lavado, los yacimientos con caráter rentable deben tener unas reservas mínimas del orden de 1-2 millones de toneladas.

Las especificaciones de mercado del producto no tienen que darse en cantera, de hecho en muy raras ocasiones sucede así. Lo que hay que exigir al material de cantera es un contenido susceptible de transformación. La granulometría la adquiere el material elaborado, mediante molienda y granoselección en el tren de lavado. No obstante resulta recomendable tenerlo en cantera con el menor porcentaje posible de finos.

En la figura 16 se presenta un modelo esquemático de una planta standard de lavado de arenas silíceas. Los pasos de procesado son los siguientes:

Fig. 16



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE LAVADO DE ARENAS SILICEAS

1. ADICION DE AGUAS
2. TAMIZADO EN MESAS VIBRATORIAS
   - A Rechazo de gruesos
3. HIDROCICLONADO
   - B Rechazo de gruesos
4. SELECCION DE TAMAÑOS POR AGUA A PRESION
5. DESLAMADO EN TORNILLO SINFIN
   - B Rechazo de fino
6. TAMIZADO
7. SECADO EN TROMMER
8. ACOPIO PARA VENTA

- Adición de agua al producto de cantera, para su procesado por vía húmeda.

- Tamizado de eliminación de finos. Normalmente se pasa la mezcla por varias cribas vibradoras, con luz mínima (última criba), del orden de 1-1,5 mm. El rechazo de gruesos se vuelve a procesar para molienda. Dado que el el hierro es un contaminante pernicioso para el producto final, y el grado de abrasividad de las arenas silíceas es elevado, esta molienda resulta un problema en cuanto a contaminación del material procesado. Los industriales de la comarca de Arcos de la Frontera lo han resuelto, utilizando un molino de bolas standard (sobre un trommer de rotación de varios metros de longitud). En este molino las originales bolas de acero, han sido sustituidas por "bolos" de cuarzo y cuarcita, provenientes de depósitos aluviales.

- Hidrociclonado con rechazo de finos. En este proceso se elimina una parte importante de la alúmina (fracción arcillosa) y del hierro (partículas finas de destrucción de pátinas de óxidos). Al tratarse de una fracción minoritaria y sin interés industrial, este rechazo de finos se destina directamente a

escombrera.

- Hidroclasificación. Se realiza en un depósito con inyección de agua a presión por el fondo. La corriente arrastra hasta la superfie del depósito, la fracción de grano más fino, quedando en el fondo los gruesos. Se realiza de esta forma una primera granoselección grosera (fracción mayor y menor de 400-500 micras).

- Deslamado. Consiste en una segunda eliminación de finos. El lodo de arenas se hace pasar por unas mesas inclinadas con tracción y remoción mediante un tornillo sinfín. En este procesado se añade agua, que se derrama por los bordes de la mesa, arrastrando los finos (alúmina e hierro). Las plantas industriales disponen de varias mesas de deslamado, de forma que se utiliza más o menos longitud de proceso, en función del procentaje de finos de las arenas que se están tratando. El rechazo de finos va directamente a escombrera.

- Tamizado. En una caja vibratoria en la que se instalan diversas cribas se procede a una granoclasificación final de los productos comerciales (6 a 8 granulometrías diferentes).

- Secado en Trommer. Sobre cada una de las fracciones granulométricas separadas anteriormente se hace circular aire caliente. En las arenas para vidrio el producto final admite hasta un 4-5% de humedad. Las destinadas a fundición requieren un procesado más largo hasta pérdida total de humedad.

- Acopio del material para venta. Normalmente se efectúan apilamientos en montones para venta a granel. Una pequeña porción de arenas de carácter extra es destinada a fundición, y es envasanda en sacos de 40 kg.

Dentro del área de estudio existen dos plantas de lavado de arenas: ARENAS SILICEAS, S.A. (ASSA), en Arcos de la Frontera, y ARENAS SILICEAS ROJAS, S.A., en S. José del Valle. En ambos casos la mayor parte de la producción se destina a vidrio (fábricas de botellas ubicadas en Jerez, Sanlúcar de Barrameda y Sevilla). La primera Sociedad fabrica además arenas silíceas y extra silíceas para fundición. La segunda, arenas para construcción. Cada uno de los productos finales requiere de un procesado diferente, que es respectivamente más completo, para cada uno de los siguientes productos:

- Arena de construcción.
- Arena para vidrio negro.
- Arena para vidrio de color.

- Arena para vidrio blanco.
- Arena para fundición.

Los precios de los productos aumentan en relación directa a la complejidad del procesado. Estos oscilan entre 250 R/Tm (500 R/m^3) en las arenas de construcción, y 2.000 R/Tm en las de moldeo para fundición. En base a estos precios los únicos productos que permiten su transporte hasta áreas alejadas son las arenas de moldeo. El resto son consumidos dentro de la comarca en que se producen.

Es importante señalar que al contrario de lo que sucede con la mayor parte de las explotaciones de minerales industriales en cantera, en las dos explotaciones de arenas silíceas se ha realizado una investigación geológica de detalle para cubicar por calidades los yacimientos. En ambos casos han realizado campañas de sondeos (más de 100 en ASSA y varias decenas en ASIROJA), con analítica de los tramos cortados. Han confeccionado cortes geológicos detallados, perfiles y planos en planta, y disponen de modelos de cubicación con calidades de material. Esto les permite realizar una explotación selectiva, en función de las demandas de cada momento. Ambas industrias disponen asimismo de laboratorios propios en los que llevan un control de calidad diario, por análisis químicos de SiO_2, Al_2O_3 y

Fe_2O_3. Los datos relativos a investigación y analítica interna figuran en las fichas del Archivo Nacional de Minerales y Rocas industriales.

Por lo que respecta a la posibilidad de nuevos emplazamientos industriales en la comarca, el estudio realizado revela las siguientes conclusiones:

- En la Depresión del Guadalquivir (principalmente en su sector occidental) existen grandes reservas de materiales arenosos, susceptibles de ser lavados para la fabricación de arenas silíceas (del orden mínimo de varios centenares de millones de toneladas).

- Dado el bajo precio de los productos finales, las posibles industrias transformadoras necesitan de un mercado consumidor establecido en la comarca. En la actualidad la demanda comarcal se encuentra satisfecha por las industrias existentes.

En base a ello la implantación de nuevas industrias transformadoras se tendría que realizar de forma paralela a la creación de industrias consumidoras (fábrica de vidrio). En el caso de las fundiciones (que son las arenas silíceas de mayor precio), se podría

plantear la producción para venta en mercados extracomarcales.

3.3 DIATOMITAS

Son rocas sedimentarias silíceas, constituidas en su mayor parte por restos de esqueletos fosilizados de diatomeas. Las diatomeas son plantas acuáticas unicelulares relacionadas con las algas.

Estas rocas se han originado como consecuencia del endurecimiento del fango de diatomeas y están compuestas esencialmente por sílice orgánica. Esta sílice es una variedad de ópalo formada inicialmente en las paredes celulares de la diatomea en estado vivo.

Son varios los términos empleados para este tipo de depósitos, compuestos principalmente por restos fosilizados de diatomeas y en proporciones variables, por otros microorganismos silíceos, tales como silicoflagelados, radiolarios y espículas de espongiarios.

Entre los términos más clásicos utilizados destacan: los de harina mineral, harina fósil y harina de montaña. Actualmente están en desuso, pasando a ser denominaciones meramente anecdóticas.

El término randanita es aplicable sólo a la variedad oscura de tierra de diatomeas, que tiene un alto contenido en elementos húmicos.

Bajo la denominación de trípoli se agrupa un número variable de rocas silíceas de origen sedimentario, producto de alteración del "chert". Esta alteración elimina el carbonato, quedando un residuo finamente dividido que se conoce con el nombre de rottenstone. Se diferencia de la diatomita en que el trípoli no contiene necesariamente restos de diatomeas.

Estos materiales son conocidos bajo denominaciones diversas de acepción local. Tripolita en Trípoli (Libia). Kieselguhr, Kieselmehl y tripel en Alemania. Soft-shale, polishing slate o earthy tripolita en los paises anglosajones. En España también se conocen por denominaciones locales: moronitas de Morón de la Frontera (Sevilla) o las facies tap-blau de la zona levantina.

3.3.1 Datos previos

El término diatomea proviene del griego diatomos, que significa surcado, siendo aplicado por vez primera en estos organismos por Candolle en 1.805.

El término moronita fue introducido por CALDERON y PAUL (1.886) y ha sido empleado para designar los materiales de edad Oligoceno superior-Tortoniense inferior depositados en la Depresión del Guadalquivir, según este autor. Así mismo, se han empleado para facies similares correspondientes al Mioceno Superior (Tortoniense-Messiniense).

Entre los trabajos más recientes, destacan los de MARGALEF (1.950), COLOM y GAMUNDI (1.951); y los de PLIEGO Y BABIANO (1.982), los de CALVO (1.981) y los de BUSTILLO (1.989), relacionados con las diatomitas en España.

Las diatomeas o bacilarias, son plantas microscópicas, organismos unicelulares, autótrofos, con cromatóforos pardos y reserva grasa. Aunque generalmente se les ha incluido entre las algas verdes, las tendencias más recientes optan por considerarlas como una división independiente dentro de las algas, la clase Bacillariophyta.

Los restos esquelatales de diatomeas están formados por caparazones bivalvos de fina ornamentación, que diseña un sistema de huecos ultramicroscópicos. Este conjunto de huecos es el encargado de suministrar los nutrientes a la membrana celular mediante un proceso de

alimentación osmótica. El diámetro de las valvas normalmente varía entre 5 y 1.000 micras.

Desde el punto de vista taxonómico, las diatomeas se dividen en dos amplias categorías: Centricae (céntricas) y Pennatae (pennadas). Dicha división corresponde a dos líneas filogenéticas distintas, que se traduce en dos formas de vida diferentes. Las pennadas son esencialmente bentónicas. Las céntricas son por lo general planctónicas.

La naturaleza del movimiento de las diatomeas no es bien conocido, sin embargo se admite que el deslizamiento de las mismas no puede producirse más que sobre un sustrato. Dicho deslizamiento viene determinado por la emisión al exterior de la masa citoplasmática, originándose así una corriente de agua que la impulsa.

La multiplicación en las diatomeas se realiza bien por división binaria vegetativa, por formación de esporas, o por auxosporulación sexuada o asexuada.

Las diatomeas son organismos acuáticos abundantes indistintamente en aguas saladas, salobres o dulces. También son frecuentes en la humedad de los musgos y en el suelo.

Aunque las poblaciones de diatomeas tienen a su vez organismos depredadores, su limitación, más que a éstos, se debe a factores físico-químicos del medio en que viven.

En el fitoplancton marino, las diatomeas alcanzan su máximo desarrollo en las aguas frías y costeras. Se ha comprobado experimentalmente, que la temperatura óptima para su desarrollo oscila entre los 15 y 30 grados centígrados. Las altas temperaturas les son nocivas, mientras que las inferiores a cero grados no provocan su muerte, siempre y cuando el medio permanezca en estado líquido.

El comportamiento de las diatomeas frente a la luminosidad es varible, algunas especies se encuentran en zonas profundas (son ombrófilas), pero la gran mayoría forman parte del plancton superficial.

En medios continentales las diatomeas se pueden encontrar en suelos húmedos, sobre plantas o rocas húmedas. En lagos, arroyos y estanques. También en manantiales y lodos de fondo.

Las diatomeas pueden vivir en medios marinos litorales, y corresponden con las formas pennadas que son bentónicas. Ocasionalmente éstas pueden aparecer

accidentalmente en el plancton superficial. Su presencia está íntimamente relacionada con corrientes ascendentes (upwelling); estas corrientes en la mayoría de los casos coinciden con ciertos peridos estacionales, al tiempo que se produce la multiplicación vegetativa.

Las formas más comunes y abundantes son las diatomeas céntricas que habitan en el plancton marino, ya sea oceánico o nerítico. Las especies oceánicas pasan su vida en océano abierto, sufriendo en éste varias fases de su ciclo vital. Las especies neríticas viven en el fondo y están próximas a las líneas de costas, pasando con frecuencia por un estado bentónico.

Al ser las diatomeas componentes importantes del fitoplancton marino, el conocimiento de su distribución paleogeográfica aportará información valiosa, en orden a la resolución de problemas de índole geológico-minera.

La estructura del esqueleto de las diatomeas y la composición química, son los elementos responsables de las características y propiedades que condicionan el uso industrial de la diatomita.

El mercado para los productos derivados de las diatomitas actualmente es estable, debido en gran medida

a la variedad de sus usos, de forma que su consumo abarca un amplísimo espectro de la actividad industrial. Así pues las reservas de diatomitas a nivel mundial se cifraban en 1.974 en 1.813 millones de toneladas (datos del U.S. Bureau of Mines), previéndose una demanda total desde ese año hasta el 2000 de unos 88 millones de Tm. Esta previsión podría mejorarse si se tienen en cuenta los posibles avances tecnológicos en el tratamiento de diatomitas, haciendo explotables yacimientos considerados en la actualidad como no rentables.

3.3.2 Metodología de estudio

El primer paso que se ha seguido para el estudio de diatomitas, ha sido la revisión y síntesis bibliográfica que sobre el particular existe en el ámbito de la Depresión del Guadalquivir. También se ha intentado llegar al buen conocimiento de las diatomitas y los factores que las controlan.

El objeto inicial y básico del Proyecto iba encaminado a la determinación de áreas que fueran susceptibles de ser aprovechadas industrialmente. En cambio los medios de los que se disponían (trabajos de campo, analítica, etc.), eran a todas luces insuficientes para conseguir este fin. Ya en la Depresión del Guadalquivir se han hecho estudios

parciales y sectoriales sobre la caracterización de diatomitas, sin embargo apenas si se ha avanzado en este sentido, y lo que es más importante, aún no se conoce nada o casi nada a cerca de su distribución, factores que las controlan, aparición de las mismas ligadas a unos horizontes estratigráficos y en definitiva su ubicación en un marco paleogeográfico concreto.

Por todo lo aludido anteriormente se acordó hacer una exhaustiva revisión cartográfica de toda la Cuenca para conocer adecuadamente cuales eran las áreas favorables de acumulación de diatomitas. Por esta razón se ha elaborado un plano geológico de sustancias, donde se exponen las áreas preferenciales de aparición de diatomitas. Se contemplan además todos los horizontes estratigráficos donde están o pueden estar asociadas y se da una interpretación paleogeográfica.

En resumidas cuentas el método básico de trabajo ha sido la delimitación cartográfica de afloramientos y yacimientos susceptibles de tener interés de ser investigados. Este aspecto se ha podido llevar a cabo al plantear un estudio global de toda la Depresión del Guadalquivir y no de sectores concretos conocidos donde se corría el riesgo de no poder determinar la ubicación de otros yacimientos.

También se ha procedido a la recolección de muestras para su ulterior análisis y estudio. Es obvio que la analítica realizada, y contemplada en el Proyecto es insuficiente, además de no ser la más adecuada para la correcta determinación y caracterización de diatomitas. Este aspecto se conoce en la actualidad gracias a las investigaciones llevadas a cabo durante la realización del Proyecto, y todo ello en base a las técnicas vanguardistas de análisis tecnológicos existentes.

Al mismo tiempo hay que destacar que es tan importante el tratamiento industrial (procesados mecánico, químico, etc.), a aplicar en estas sustancias, como la calidad y pureza de las diatomitas. Este aspecto es básico tenerlo en cuenta en la valoración analítica de resultados y en actuaciones futuras de áreas concretas.

Los métodos analíticos llevados a cabo han sido: químicos y por difracción de Rayos X. Los primeros han consistido en la determinación cuantitativa de SiO_2 y los segundos han pretendido la determinación semicuantitativa de los minerales de la arcilla.

Los contenidos en SiO_2 obtenidos de la analítica pueden provenir bien de la sílice biogénica

(de las diatomeas), bien de la sílice detrítica (sílice clástica del sedimento en sí). La sílice que interesa desde el punto de vista de la aplicación de las diatomitas, es la sílice biogénica incluida o relacionada con el contenido de diatomeas.

3.3.3 Características generales y analítica

La sílice del esqueleto fosilizado de las diatomeas es de origen orgánico y corresponde a un ópalo o sílice hidratada (SiO_2nH_2O). También existen otros compuestos inorgánicos asociados, principalmente alúmina y en menores proporciones hierro, tierras y metales alcalinos y otros constituyentes.

Asociados a la sílice y formando parte de la diatomita, se encuentran cantidades variables de otras sustancias como son: carbonatos, arcillas y limos. También hay elementos minerales contaminantes tales como: feldespatos, micas, anfíboles y piroxenos procedentes de elementos resedimentados.

El peso específico de la diatomita es de alrededor de 2,1, sin embargo puede alcanzar un valor de 0,45 pulverizada y seca. El poder de absorción es muy elevado, pudiendo llegar a almacenar de un 25 a un 30% de agua. La conductividad térmica es baja y el punto de

fusión variable entre 1.400 y 1.750°. La dureza en la escala de Mohs es de 1,5, mientras que la de los caparazones individuales oscila entre 4 y 6.

Las diatomitas comerciales presentan un porcentaje en sílice, las de buena calidad, entre 86 y 94%. Valores porcentuales menores condicionan el uso de la diatomita, en función también del tipo de impurezas presentes. Así pues el contenido en alúmina no debe sobrepasar el 1,5%.

La sílice de las diatomeas es por lo general amorfa según las observaciones al microscopio. Las investigaciones realizadas en base a los datos obtenidos por rayos X, muestran que la diatomita, sin tratamiento específico, presenta un halo ancho en la zona del pico de la cristobalita (sílice microamorfa). Al mismo tiempo las impurezas cristalinas, según las cantidades en que se presenten, producen sus propios picos o líneas radiográficas, proporcionando una identificación en mayor o menor grado de su naturaleza.

A la hora de hacer el inventario y estudio de la información bibliográfica existente sobre diatomitas en la Depresión del Guadalquivir, se comprobó la existencia de áreas que se aconsejaban como potencialmente interesantes, caso de los sectores de

Mengíbar, Martos, Porcuna y Jerez-Sanlúcar de Barrameda. La analítica realizada en estos puntos indicaban contenidos en SiO_2 que superaban a veces el 80% sobre muestra total. Durante la realización del presente Proyecto, la mayoría de estas áreas han sido desmuestreadas sobre afloramiento total visible y analizadas, dando valores en SiO_2 considerablemente inferiores a los anteriormente citados (entre el 40 y 60%).

Así pues los análisis químicos realizados sobre muestras tomadas en Porcuna, en las inmediaciones del arroyo Salado han dado los siguientes resultados.

a) Sobre margas diatomíticas: 57,27% de SiO_2; 3,64% en Al_2O_3 11,63% en CaO como valores más significativos.

b) Sobre margas blancas: 41,59% de SiO_2; 10,19% en Al_2O_3 y 18,84% en CaO.

La analítica efectuada para el caso a), es representativa de un banco diatomítico de más de 3 m de potencia. En el caso b) la muestra está tomada según una roza abierta a lo ancho de un estrato cuya potencia es superior a 2,5 m. Ambos afloramientos pertenecen a la Unidad de edad Messiniense, descrita en el capítulo 2 de

Geología.

En la zona de Martos, sobre las margas blancas de la Unidad de Castro del Río, también se han tomado dos muestras y son las siguientes:

a) Sobre margas diatomíticas: 55,69% de SiO_2; 3,98% en Al_2O_3 y 12,6% en CaO como valores predominantes.

b) Sobre margas blancas: 44,77% de SiO_2; 5,43% en Al_2O_3 y 21,97% en CaO.

En el caso a) se ha desmuestreado globalmente un paquete de más de 3,5 m. En el caso b) el desmuestre es representativo de más de 7 m de espesor.

En informes anteriores se citan análisis sobre estos mismos afloramientos que llegan a tener el 63% en SiO_2.

En el sector de Mengíbar (área de Torreblascopedro), el contenido en SiO_2 está en torno al 55% en margas diatomíticas que presentan un espesor visible y desmuestreado superior a 5 m.

En la zona de Cádiz, para el sector de Bornos-

Arcos de la Frontera, los contenidos en SiO_2, de margas diatomíticas sobre un tramo desmuestreado de 7 m, está comprendido entre el 50 y 60%. Estos resultados analíticos, son muy similares a los obtenidos en otros proyectos anteriores sobre muestras de la misma unidad geológica.

En un trabajo elaborado para el Plan MAGNA, de las hojas de Sanlúcar de Barrameda, Jerez de la Frontera y Carmona por este equipo, se realizó una caracterización general de los afloramientos de moronitas, ubicadas en la Unidad de margas blancas (U. de Castro del Río). En este estudio se diferenciaron dos grupos de moronitas, iguales a las citadas antes, es decir: a) margas diatomíticas y b) margas blancas. Esta distinción se basa en varios aspectos:

a) Son más ligeras, hojosas, abundantes estructuras laminadas, mayor riqueza de microfacies con altos contenidos en diatomeas y radiolarios, bajos o relativamente bajos porcentajes en carbonatos y alto contenido en sílice opalina (puede llegar a 70-80%).

b) Son algo más pesadas, compactas, porcentajes considerablemente inferiores en microfacies y en SiO_2.

3.3.4 Valoración de las diatomitas

La utilización de las diatomitas en la industria viene determinada por su estructura y composición esencialmente. Estos aspectos caracterizan una porosidad y una capacidad absorvente elevadas, así como una baja densidad, dureza y conductividad térmica.

Actualmente la diatomita constituye un elemento básico en la fabricación de filtros, siendo ésta su utilización más apreciada y rentable. Las industrias que utilizan diatomitas para ayuda de filtros son variadas: azúcar, aceites minerales, lacas, jugos, medicinas, cosméticos y perfumes, filtración de aguas, etc. Algo más del 50% de la diatomita que se produce va destinada al uso de la filtración.

El uso más importante que sigue al de filtros, es como carga de productos manufacturados tales como: pinturas, plásticos, papel, etc.

Otros usos importantes son como material aislante, abrasivos suaves, hormigones ligeros, aditivo para cemento, refractarios, etc. También sirve en la industria química y petroquímica como soporte de catalizadores, y en la fabricación de abonos. Una de las innovaciones modernas de su aplicabilidad es como

soporte cromatográfico.

Para que las diatomitas tengan un uso industrial adecuado, aparte de sus características aludidas, es necesario que el material canterado sea secado y molido. Este proceso es delicado ya que la estructura y forma de las partículas condicionan sus propiedades físicas. De ahí que el tratamiento de las diatomitas sea, sobre todo en el caso de productos de alta calidad, una operación compleja con elevados costes de equipamiento (secadores, hornos, ciclones, clasificadores, etc.). Este aspecto hace que sólo escasas compañías tengan controlada la producción de diatomitas de alta calidad.

Existe un vacío de información entre los trabajos de investigación geológico-minera de rocas o minerales de interés económico, y las industrias en general que utilizan esas materias primas. Este aspecto posiblemente sea debido a competencias en el mercado económico por parte de las sociedades.

Por regla general la tendencia a valorar una sustancia es por el grado de pureza a la hora de fabricar una materia prima. Esta valoración se suele hacer sobre producto extraído del yacimiento y tratado en la planta industrial asociada a él. Una vez elaborado

el producto se comercializa para su venta y para la fabricación de materias primas asociadas. Sin embargo, suele ocurrir que las características físico-químicas del producto obtenido en el yacimiento varían considerablemente respecto a su tratamiento industrial. Esto hace que en muchas ocasiones algunos yacimientos se infravaloren, al comparar sus datos analíticos con los que determina el mercado en ese momento.

Actualmente las diatomitas, especialmente las muy puras (contenidos en sílice opalina superior al 80-85%), son bien cotizadas en el campo industrial, de tal suerte que son utilizadas como filtros, cargas y extendedores, fundentes o en la cerámica refractaria. En todos los casos se requiere un material muy "puro", significando como tal a contenidos en SiO_2 superiores al 95% e inferiores al 1% e incluso menores en otros contaminantes como son el Fe, alúmina, etc. Es difícil encontrar en la naturaleza sustancias que guarden tales características. La industria química experimentalmente ha comprobado, que pueden obtenerse estas leyes, aplicando tratamientos y procesados adecuados a cada tipo de sustancia.

La falta de información y conocimiento que en el sentido antes aludido se ha expresado, no permite hacer una valoración económica de las diatomitas en la

Depresión del Guadalquivir.

Es obvio que frente a los resultados analíticos de pureza que expresan las industrias (>95% en SiO_2), en toda la Cuenca hay niveles de orden milimétrico que cumplen este requisito, lo que los hace totalmente inviables desde un punto de vista comercial. Sin embargo frente a este gran problema, se puede concluir que las áreas consideradas como favorables cubren grandes extensiones, si bien como se ha indicado son de menor pureza (en torno al 50-60% de SiO_2).

En investigaciones futuras este aspecto es primordial porque dichas áreas, serían potencialmente interesantes siempre y cuando, tras un tratamiento adecuado que no superara los precios de mercados, las diatomitas alcanzaran un grado de pureza tolerable.

3.4 ARCILLAS ESPECIALES

En el grupo de las arcillas especiales concernientes al Proyecto, se incluye la serie de las **PALIGORSKITAS**, determinada por los minerales de la arcilla sepiolita y attapulgita (denominación que proviene de Attapulgus -USA-, yacimiento de mayor producción mundial).

La serie de las **paligorskitas** presentan desde un miembro final magnésico (sepiolita), hasta otro miembro final alumínico (attapulgita, en lo sucesivo se denominará paligorskita). Estos minerales muestran un contenido relativamente alto en Al y Mg, presentando las mismas gráficas de difracción de R-X. Además ofrecen similares características de deshidratación.

Existen paligorskitas asociadas a yacimientos de tipo hidrotermal. También las hay ligadas a las arcillas de los suelos. Sin embargo están extensamente representadas en sedimentos lacustres y marinos.

En los sedimentos lacustres estas arcillas van conjuntamente con carbonatos, sílex y a veces con sales. El origen de los mismos es interpretado como de neoformación.

En sedimentos marinos es donde están más ampliamente distribuidos, y la sepiolita y la paligorskita por regla general van asociadas con esmectitas.

La estructura de tipo fibroso de las **paligorskitas** es la base de sus importantes propiedades sorcitivas y reológicas, en las que destacan sus poderes de adsorción, absorción y tixotropía.

3.4.1 Datos previos

Las arcillas fibrosas, sepiolita y paligorskita, son silicatos de Mg y Al respectivamente, muy abundantes en España. Sus reservas pueden suponer del orden del 50 al 90%, de las reservas mundiales (GALAN, 1.979). Los principales yacimientos están ubicados en la cuenca del Tajo y uno de ellos en la Depresión del Guadalquivir.

La principal aplicación de estas arcillas como absorventes o soportes de catalizadores, está regida esencialmente por la magnitud de su superficie específica textural.

La estructura de las **paligorskitas** está constituida por fibras, compuestas por dos cintas de tetraedros de sílice, unida a otra central de magnesio o aluminio, en coordinación octaédrica y situados entre los vértices de dos láminas sucesivas.

De acuerdo con el modelo estructural de las mismas, existen "canales" orientados según las fibras donde pueden entrar a formar parte moléculas de H_2O ("agua zeolítica") y otros fluidos.

De acuerdo con las características texturales y estructurales de estas arcillas, se ha desarrollado un gran número de aplicaciones, unas veces comunes para sepiolita y paligorskita y otras veces específicas para cada una de ellas. Como aplicaciones generales destacan los usos industriales siguientes: granulos absorventes para suelos, cat litter (camas de animales), soportes de insecticidas y pecticidas, soportes de catalizadores, aglomerante de piensos, filtros de cigarrillos, decolorantes clarificadores, lodos salinos de perforación y cargas en la fabricación de caucho y papel.

Son escasos los datos que existen sobre arcillas especiales en la Cuenca del Guadalquivir, a pesar de existir un importante yacimiento de sepiolita y paligorskita, en las proximidades de Lebrija, cerca del límite de las provincias de Sevilla y Cádiz. Los únicos datos bibliográficos sobre estos materiales son dos publicaciones sobre la geología del yacimiento de la Laguna de Los Tollos, realizadas por el personal técnico de la empresa explotadora TOLSA.

Las arcillas especiales de la Laguna de los Tollos se sitúan en una pequeña cuenca lacustre. Las dimensiones de la misma oscilan entre varios km^2 de extensión, y algunas decenas de metros de potencia en la

zona de máximo espesor.

La realización recientemente de las hojas MAGNA por el equipo de trabajo del presente Proyecto, han puesto de manifiesto la presencia de varias cuencas lacustres residuales, de características similares a las observadas en la Laguna de los Tollos.

Previo al planteamiento del presente Proyecto, se realizó una visita de inspección a algunas de las áreas lacustres de edad Pliocuaternario, y se constató la presencia de depósitos arcillosos con un contenido elevado en paligorskita.

Este hecho fue una de las bases que dieron lugar al planteamiento y ejecución del presente Proyecto.

3.4.2 Metodología de estudio

Al igual que en el estudio del resto de las sustancias investigadas, la primera labor a realizar ha sido la revisión y síntesis de la bibliografía que existe en la Depresión del Guadalquivir sobre el tema. También se ha manejado aquella información de utilidad que proporcionara un buen conocimiento sobre la génesis, características y mercado de las arcillas especiales.

A continuación se ha realizado una síntesis geológico-minera de la Cuenca, donde se individualizaron los afloramientos lacustres reconocidos en trabajos previos (hojas MAGNAS, básicamente) y hallados durante la presente investigación (plano nº 1).

También de forma preliminar se realizó una visita al yacimiento de la Laguna de los Tollos, para establecer sus características geológicas y mineralógicas.

A continuación se han realizado itinerarios minuciosos de campo, destinados a reconocer los depósitos lacustres residuales reconocidos en trabajos previos; así como a poner de manifiesto nuevas cuencas de este tipo que hubieran pasado hasta ese momento desapercibidas. En el plano nº 2 se puede observar la totalidad de los depósitos lacustres reconocidos y enmarcados como áreas favorables suceptibles de ser investigados.

En cada uno de ellos se ha procedido a una inspección detallada de todos los afloramientos existentes, de cara al establecimiento de las características estratigráficas. Se han muestreado para analítica los niveles arcillosos cuyo aspecto "de visu" indicaba la posibilidad de arcillas especiales. Se ha

reconocido la presencia de atapulgita en la mayor parte de los depósitos estudiados, y de sepiolita en alguno de ellos.

Como última fase de la investigación de campo se han seleccionado dos cuencas, que presentaban las mejores perspectivas desde el punto de vista de arcillas especiales. Sobre estas cuencas se han realizado sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo, para el reconocimiento de los materiales en profundidad.

Finalmente destacar que la investigación de campo sólo permite observar los niveles más altos de cada una de las cuencas reconocidas, y en la mayor parte de los casos en pésimas condiciones de afloramiento. Esto es debido a tres hechos: la morfología de las unidades investigadas (lentejones de varios kilómetros de diámetro y varias decenas de metros de potencia), la extrema suavidad del relieve, y el gran desarrollo de suelos.

Todas las muestras tomadas sobre este tipo de arcillas se las ha caracterizado mineralógicamente por difracción de R-X. Al mismo tiempo se han establecido los porcentajes semicuantitativos de los minerales de la arcilla y dentro de estos los de sepiolita y paligorskita.

Por último se han estudiado los datos elaborados y se han establecido las conclusiones derivadas de ellos. Desde el punto de vista económico se ha hecho un apunte sobre la situación de mercado de estas sustancias y sobre la influencia que su explotación puede tener en el desarrollo industrial de la región.

3.4.3 Características generales y analítica

Nuestro país cuenta con importantes reservas de sepiolita a nivel mundial y de paligorskita a nivel europeo. Por sus características y aplicaciones específicas estas sustancias presentan una creciente demanda en el mercado.

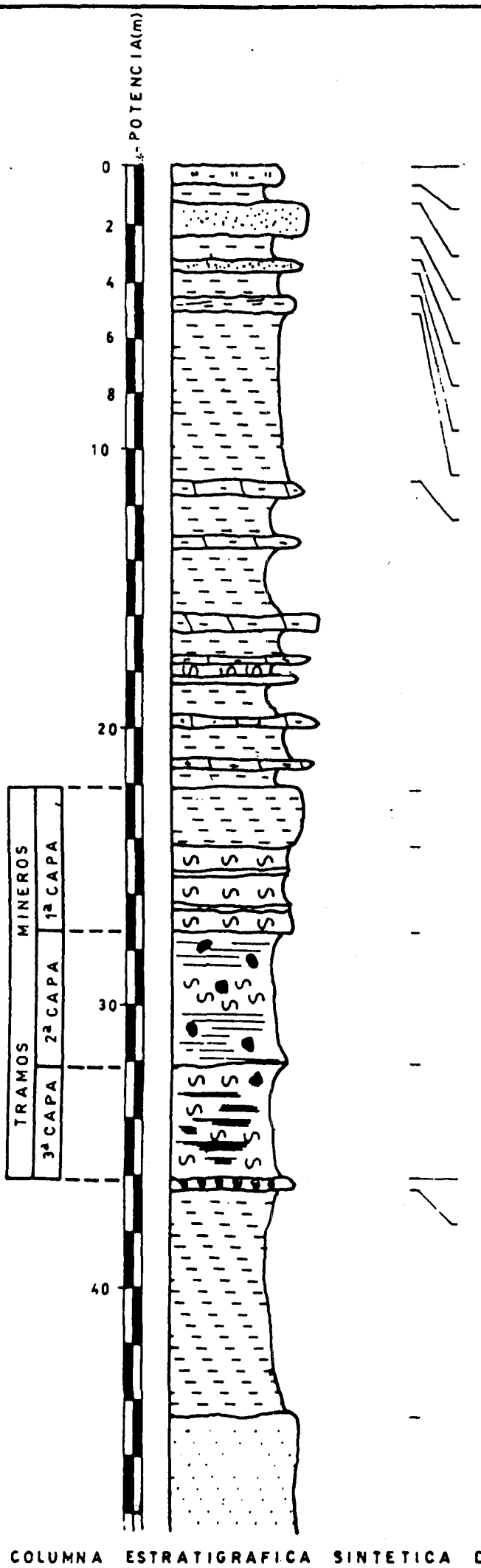
Para poder evaluar adecuadamente los resultdos obtenidos en áreas consideradas como favorables, ha sido preciso previamente conocer con detalle la analítica de estas arcillas. Para ello se ha tomado como punto de partida el centro de producción y comercialización de El Cuervo y Lebrija respectivamente. Posteriormente se han estudiado otras cuencas lacustres de características similares, donde además se han realizado sondeos mecánicos para determinar su desarrollo.

3.4.3.1 Cuenca lacustre de la "Laguna de los Tollos" (El Cuervo)

Es una cuenca continental lacustre de morfología lentejonar. El diámetro medio de la misma es de unos 2,5 km. La potencia máxima detectada es del orden de 60 m. La cuenca se instaló sobre depósitos marinos someros (arenas) de edad pliocena, y funcionó como tal durante el Plioceno Superior-Cuaternario. La actual Laguna de los Tollos es el relicto de la cuenca lacustre antigua.

Los materiales que la rellenan constituyen una sucesión de arcillas, margas y calizas, con algunas intercalaciones detríticas (arenas) que se exponen en la columna adjunta. A grandes rasgos se pueden distinguir tres unidades superpuestas. Son las siguientes de muro a techo:

- Unidad inferior margocaliza. Está formada por una alternancia de calizas y margas, en niveles decimétricos. A esta se asocian niveles de chert y diatomita. El mineral de la arcilla dominante es la sepiolita, y existe siempre un pequeño porcentaje de paligorskita.
  Presenta a muro un nivel de unos 10 m de potencia de margas blancas sin sepiolita, denominado por los



Suelo arcilloso negro. Depósito del fondo de la laguna actual.

Arcilla verde con yeso y calcita

Arena blanca, limpia, de grano medio con lentejones decimétricos de yeso.

Arcilla margosa atapulgítica

Arena blanca, fina, limpia.

Arcilla margosa, verde, atapulgítica.

IDEM, con abundantes carbonatos

Arcilla verde claro, algo margosa, de aspecto atapulgítico

Alternancia de arcillas verde claro, algo margosas, de aspecto atapulgítico; con niveles de calizas margosas. Intercalan un nivel decimétrico de arcillas sepiolíticas

Arcilla masiva verde, de aspecto atapulgítico

Arcilla margosa, sepiolítica, rosa oscuro-blanca. Intercala niveles de 10-30 cm. con laminación paralela, (varves)

Arcilla sepiolítica crema con estructura en varves. nódulos de sílex. Intercala un nivel de arcilla masiva de 1-2 m de potencia

Arcilla sepiolítica margosa de tonos gris-crema. Abundantes gasterópodos. Nódulos y nivelillos de sílex, que llegan a ocupar el 50% de la potencia.

Lumaquela de gasterópodos.

Margas blancas no sepiolíticas. Albarizas en la denominación de los mineros.

Arenas marinas pliocenas.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA SINTETICA DEL YACIMIENTO DE LA LAGUNA DE LOS TOLLOS

mineros "Albarizas". Sobre él hay una lumaquela de gasterópodos de 20 cm de potencia. Por encima 3 paquetes de margas sepiolíticas de 4, 5 y 2,5 m de potencia, que se denominan 1ª, 2ª y 3ª capa por los mineros. Estas tres capas constituyen los niveles de mayor riqueza de la explotación.

En líneas generales los sedimentos que comportan estos niveles son bastante carbonatados, con porcentajes variables entre el 20 y el 90% de calcita, bajos contenidos en cuarzo y entre un 15 y 60% de minerales de la arcilla, de los cuales la paligorskita y/o sepiolita constituye/n casi la totalidad.

Se ha podido comprobar, mediante análisis de R-X, que los porcentajes de paligorskita obtenidos en esta Unidad, son equivalentes a los obtenidos en el producto final de la planta de tratamiento. Así pues muestras tomadas en cantera y sobre el granulado absorvente que dispone TOLSA para la venta, arrojan una analítica similar con contenidos en paligorskita/sepiolita del orden del 30% sobre el total de muestra recolectada y el resto son carbonatos en su mayoría (calcita) y cuarzo.

- Unidad Intermedia. Constituida esencialmente por calizas y calizas margosas, con pequeñas intercalaciones de arcillas y margas. La

mineralogía de la fracción arcillosa es de sepiolita dominante hacia muro. Hacia techo hay un aumeto progresivo de paligorskita, y en menos proporción ilita, a expensas del contenido en sepiolita. La potencia de la unidad es del orden de 20 m.

- Unidad superior. Formada por una sucesión de niveles de arcillas y margas, en alternancia con otros de caliza. A veces hay alguna intercalación arenosa de varios decímetros de potencia. La mineralogía de las arcillas de este tramo es de esmectitas, con porcentajes que oscilan entre el 25 y el 75%, ilita con valores menores del orden del 10-25% y en menor proporción la paligorskita. En todos los casos estos porcentajes se refieren al valor total de la muestra.

Por lo que respecta a la evolución de esta cuenca, el área encharcada (con depósito) se ha ido restringiendo en sentido centrípeto en el tiempo. Este marco geológico continúa en la actualidad donde se ubica la Laguna de los Tollos.

Los materiales de la unidad inferior, ricos en sepiolita y con intercalaciones de diatomitas y cherts, son los que ocupan la banda más externa de los

afloramientos de la cuenca; mientras que en las áreas centrales, se sitúan progresivamente los de las unidades intermedia y superior.

Además de la Cuenca de los Tollos, en el momento de iniciarse la sedimentación lacustre, existieron otras pequeñas cuencas próximas a ella, en las que también se produjo el depósito de margas ricas en sepiolita, con diatomitas y cherts. Estas cuencas tendrían una subsidencia menor y su colmatación se produjo antes (sólo presentan depósitos correlacionables con los de la unidad basal, y la potencia máxima es del orden de una decena de metros). Se trata de los sedimentos lacustres de Cerro Benito y Mesas de Asta (hojas de Lebrija y Jerez de la Frontera respectivamente). En estos puntos las arcillas especiales no son explotables, por presentar poca potencia y ser de extensión reducida.

3.4.3.2 Otras cuencas lacustres

Durante la realización del presente Proyecto, se han puesto de manifiesto otras cuencas lacustres de características similares a las expuestas anteriormente para la Cuenca de los Tollos. En unos casos los datos de observación permitían poner en evidencia unas costras calcáreas en superficie con algunos niveles de arcillas

a muro muy cubiertos y alterados. En otros casos se han observado en taludes de carreteras y arroyos, depósitos margo-arcillosos de litología y mineralogía equivalentes a los reseñados en la citada Cuenca de los Tollos.

Existe un gran número de cuencas lacustres de dimensiones muy reducidas (varios centenares de m^2 de superficie y algunos metros de espesor), con depósito de calizas lacustres y margas paligorskíticas. Al mismo tiempo existen otras cuencas que se pueden considerar "mayores" y son las siguientes:

- Cuenca de El Palmar de Troya
- Cuenca de El Coronil
- Cuenca de Montellano
- Cuenca de Marchena-Osuna
- Cuenca de Puente Genil

Las tres primeras ocupan una extensión del orden de 10-20 km^2, y algo inferior la última. La Cuenca de Marchena-Osuna es la de mayor extensión (del orden de 300 km^2). Tanto en esta última como en la de El Palmar de Troya, el medio sedimentario se mantiene en la actualidad, en forma de pequeñas lagunas residuales.

Se caracterizan todas ellas por presentar afloramientos de calizas lacustres, de margas y arcillas margosas con un elevado porcentaje de paligorskita,

entre los minerales de la arcilla.

El haberse comportado como cuencas sedimentarias endorreicas hasta periodos recientes o incluso en la actualidad, ha propiciado una práctica ausencia de fenómenos erosivos sobre sus materiales. A consecuencia de ello los materiales aflorantes corresponden exclusivamente a los niveles estratigráficos superiores. Por lo tanto es imposible determinar la potencia total de materiales, así como la litología y mineralogía de las capas medias e inferiores, si no es mediante sondeos mecánicos.

Se han reconocido de una forma exhaustiva todos los afloramientos superficiales de estas cuencas, y se han muestreado y caracterizado mineralógicamente los niveles arcillosos. Las muestras pertenecientes a cada una de las cuencas son las siguientes:

Cuenca de Palmar de Troya .. 1020-1

Cuenca de El Coronil 1020-3, 4, 5, 6

Cuenca de Montellano ..... 1035-1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,15, 16, 17 y 18.

Cuenca de Marchena-Osuna ... 1004-3, 4, 5, 6, 7 y 11 (A, B y C) 1005-1 y 2 (A, B, C, D, E y F).

Cuenca de Puente Genil ..... 988-1 y 2.

La mayor parte de ellas presenta un elevado contenido en paligorskita (ver tablas adjuntas), lo que

NUMERO DE MUESTRA	PORCENTAJES DE MINERALES SOBRE MUESTRA TOTAL DE ROCA (Semicuantitativos)					PORCENTAJES DE MINERALES DE LA ARCILLA (Semicuantitativos)				MUESTRA / PARC. / MUEST. TOTAL
	FILOSILICAT.	CALCITA	DOLOMITA	CUARZO	OTROS	PALIGORSKITA SEPIOLITA	ILITA	CLORITA CAOLINITA	ESMECTITAS	OTROS
1020 - 1	89	5		6		45 / 40	49 / 44	< 5		
1020 - 3	62	23		15			37 / 23	< 5	59 / 36	
1020 - 4	65	10	9	16		95 / 62		ind.	ind.	
1020 - 5	64	9	13	14			66 / 42	ind.	34 / 22	
1020 - 6	45	35		20			33 / 15	6 / 3	61 / 27	
1035 - 1	75	19		6		48 / 36	30 / 22	ind.	21 / 16	
1035 - 2	8	88		4		65 / 5		< 5	30 / 3	
1035 - 3	54	28		18		ind.	12 / 6	10 / 5	78 / 43	
1035 - 4	91	1	2	6		100 / 91				
1035 - 5		100								
1035 - 6	16	82		2			10 / 2	8 / 1	82 / 13	
1035 - 7	86	7	7			53 / 43	5 / 4	ind.	52 / 45	
1035 - 8		100								
1035 - 9	50	45		5						
1035 - 10	33	62		5						
1035 - 11	ind.	95		< 5						
1035 - 12	35	55		10		45 / 16 45 / 16			9 / 3	
1035 - 13	21	74		< 5		35 / 7 55 / 12			7 / 1	
1035 - 14	25	68		7						
1035 - 15	28	64		8						
1035 - 16	36	62		12						
1035 - 17	35	65		5		35 / 12 55 / 19			7 / 2	
1035 - 18	30	65		5		40 / 12 50 / 15			8 / 2	
1004 - 3	41	17		42		40 / 16		5 / 2	55 / 23	
1004 - 4	95			5		ind.	33 / 31	11 / 10	56 / 53	
1004 - 5	23	67		9		35 / 8 25 / 6		40 / 9		
1004 - 6	51	23		26		35 / 18	30 / 15	ind.	30 / 15	

NUMERO DE MUESTRA	PORCENTAJES DE MINERALES SOBRE MUESTRA TOTAL DE ROCA (Semicuantitativos)					PORCENTAJES DE MINERALES DE LA ARCILLA (Semicuantitativos)				MUESTRA PARC. / MUEST. TOTAL
	FILOSILICAT.	CALCITA	DOLOMITA	CUARZO	OTROS	PALIGORSKITA / SEPIOLITA	ILITA	CLORITA / CAOLINITA	ESMECTITAS	OTROS
1004-7	88		ind.	12		20 / 18	10 / 8	12 / 11	58 / 51	
1004-11(A)	37	40		23			80 / 30	ind.	19 / 7	
1004-11(B)	39	43		18		79 / 31 ind.		7 / 3	14 / 5	
1004-11(C)	74	10		16			24 / 18	15 / 11	62 / 45	
1005-1	38	58		<5		65 / 25 35 / 12				
1005-2(A)	44	45		11			40 / 18	20 / 8	40 / 18	
1005-2(B)	84	9		7		20 / 18	ind.	6 / 6	70 / 60	
1005-2 (C)	90	5		5			25 / 22	13 / 12	62 / 56	
1005-2(D)	78	9		13		80 / 62	ind.	15 / 12	5 / 4	
1005-2(E)	86	4		10		2 / 2	ind.	8 / 7	90 / 77	
1005-2(F)	78	9	ind.	13	Feld. ind.	ind.	14 / 11	24 / 19	62 / 48	
988-1	82	13		5		40 / 33 ind.		<5	55 / 45	
988-2	59	33		8		40 / 24		5 / 3	55 / 32	

las hace correlacionables con la unidad superior que se explota actualmente en la Cuenca de los Tollos. En el caso de que hubiese una potencia suficiente de sedimentos lacustres por debajo de cada uno de estos niveles, y de que las sucesiones fuesen correlacionables mineralógicamente, como así parece con la de los Tollos, nos encontraríamos ante nuevos yacimientos de sepiolita-paligorskita de indudable interés económico.

Dado que en campo sólo se pueden reconocer los niveles superiores de cada cuenca, y el interés que desde el punto de vista minero pueden presentar las mismas, se ha planteado y realizado una campaña de sondeos mecánicos, destinada a reconocer la entidad de estas cuencas.

Se han realizado 4 sondeos mecánicos, que han tenido el carácter de campaña inicial de reconocimiento. Se trata de una obra no contemplada en el proyecto original, y realizada en parte como mejora al mismo.

La finalidad de la campaña ha sido reconocer la potencia existente de materiales lacustres, y constatar la posible presencia de paligorskita y sepiolita en los niveles inferiores no aflorantes. Dado el escaso número de metros perforados y la relativa extensión de afloramientos de materiales lacustres, la

campaña no pretende evaluar posibles yacimientos, sino, tan sólo, acercarnos al conocimiento de la posible existencia de los mismos.

Los sondeos se han repartido en dos de las cuencas anteriormente citadas. Uno en la de Montellano. Tres en la de Marchena-Osuna.

SONDEO DE MONTELLANO

Ha servido para intentar caracterizar las cuencas de Montellano, El Coronil y El Palmar. Las tres presentan idénticas características estratigráficas y litológicas en los tramos aflorantes, y se encuentran suficientemente próximas como para considerar (con las salvedades necesarias), que la información del sondeo se puede extrapolar a las tres dos.

Se ha ubicado en la de Montellano por ser la que presenta los mejores afloramientos superficiales (expuestos en el talud de la carretera de circunvalación de la población).

Se situó aproximadamente en el centro geométrico del área cartografiada con depósitos lacustres, en donde se consideraba, a falta de mejores criterios, que se podía ubicar el depocentro de la

cuenca. Se perforó con una sonda DIAMEC 250, de la sociedad INSERSA, entre los días 11 y 19 de Julio de 1.989. Tanto la velocidad de avance como la recuperación de testigo fueron muy bajas.

En la figura 17 se puede observar la columna litológica cortada, la situación de muestras, y el gráfico de recuperación de testigo.

Se perforaron 57 m de sedimentos, cortando en su totalidad los depósitos lacustres (los dos últimos metros corresponden a arcillas versicolores que se han asignado a la Unidad Olistostrómica infrayacente).

La columna litológica cortada corresponde a una sucesión de calizas margosas, margas y arcillas de 48 m de potencia. Hacia la base hay un nivel arenoso de unos 7 m de espesor.

En cuanto a la mineralogía de arcillas hay que destacar, en primer lugar, la baja cristalinidad de las mismas, que se refleja en los difractogramas de las muestras de polvo total como un ruido de fondo en la banda de refracciones entre las esmectitas y las illitas (4°-9°). En los diagramas de agregados orientados se individualizan bien los picos de las diferentes arcillas de dicha banda (esmectitas, sepiolita, paligorskita e

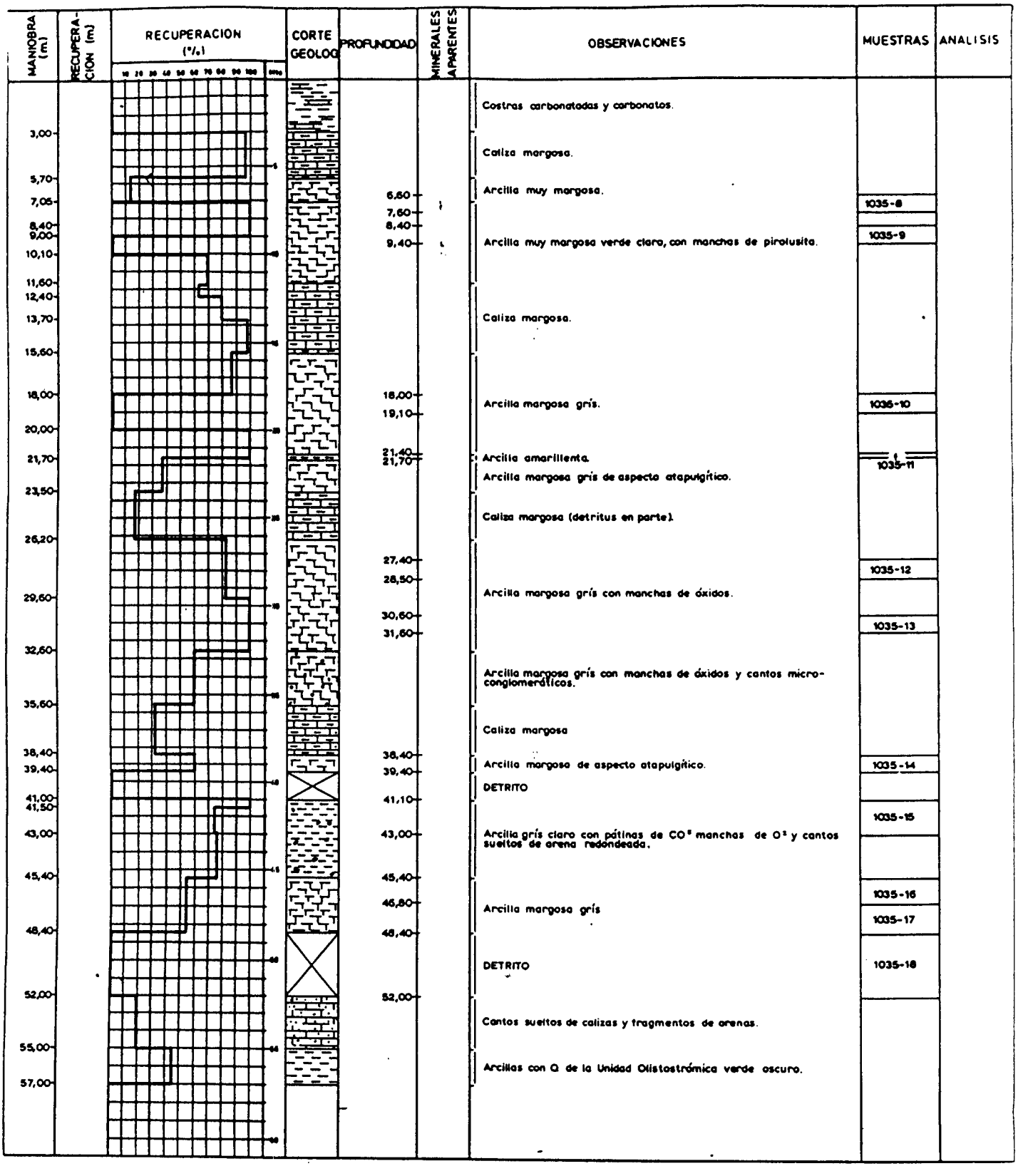


Fig.- 17 SONDEO DE MONTELLANO. COLUMNA LITOLOGICA, SITUACION DE MUESTRAS (A a K) Y RECUPERACION DEL TESTIGO

ilitas).

La muestra 1035-12 presenta aproximadamente 1/3 de sepiolita, 1/3 de paligorskita y 1/3 de clorita/caolinita, sobre el 40% de filosilicatos que componen el total de la muestra.

Las muestras 1035-43 y 1035-17 sobre un 35-40% de filosilicatos existentes, más del 50% es sepiolita y el resto lo componen paligorskita y clorita/caolinita.

La muestra 1035-18 sobre el 30% de minerales de la arcilla, más del 60% corresponde en igual proporción a sepiolita/paligorskita, el resto a ilita.

Las muestras restantes tomadas del sondeo, la componente mayoritaria de los minerales de la arcilla es paligorskita.

En resumen, la mineralogía global de arcillas que arroja la analítica efectuada en el sondeo de la cuenca de Montellano, es perfectamente correlacionable con la obtenida en la Cuenca de los Tollos. Con unos niveles superiores más ricos en paligorskita y un aumento de sepiolita, a expensas de aquella hacia los niveles de muro. Los contenidos en ambos minerales industriales son del mismo orden que en el yacimiento de

Los Tollos. Es decir, entre el 30 y el 40% del total de roca, lo constituyen sepiolita y/o paligorskita.

SONDEOS DE LA CUENCA MARCHENA-OSUNA

Se ha realizado un total de tres sondeos por ser la cuenca de mayores dimensiones, y la que mejores resultados analíticos de superficie ha aportado.

- Sondeo La Lantejuela:

Este sondeo también se ha realizado con una sonda DIAMEC-250. El alto régimen de revoluciones y el avance rápido que esta máquina imprime, no es el más propicio para la perforación de este tipo de materiales, de ahí las bajas recuperaciones. Sin embargo este aspecto se ha podido demostrar una vez realizados este sondeo y el anterior.

En la Figura 18, se muestra la columna estratigráfica, las recuperaciones y los tramos donde se han tomado las muestras.

En los cinco primeros metros se atraviesan sedimentos arenosos que deben corresponder a la base de los depósitos lacustres de este área, como después se verá en los sondeos sucesivos.

11237002

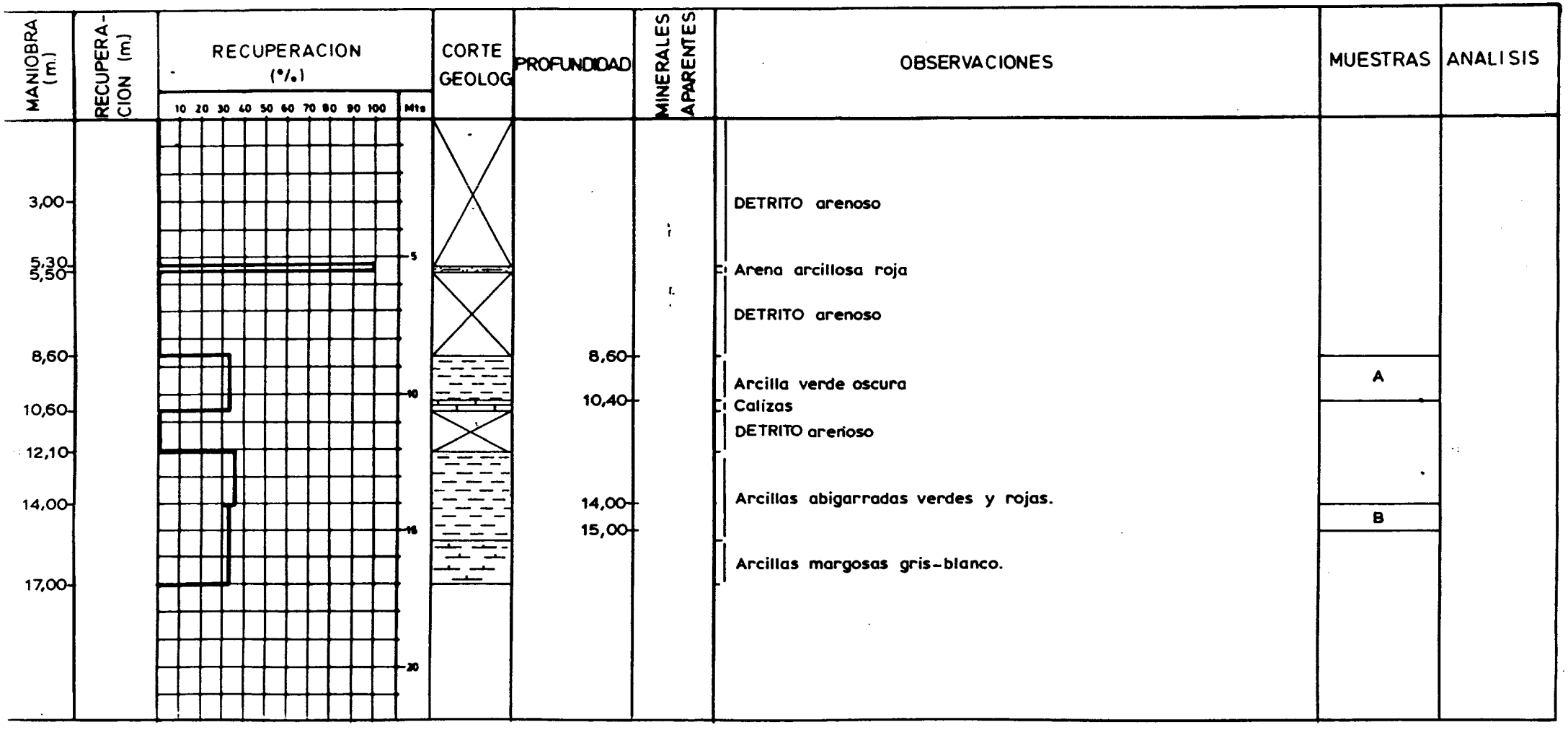


Fig.-18 SONDEO LA LENTEJUELA. CUENCA MARCHENA-OSUNA

Desde el metro 5 al 17 (final de sondeo), los materiales atravesados corresponden a las arcillas y margas versicolores de la Unidad Olistostrómica.

Las muestras tomadas en dicha Unidad y analizadas mediante difracción de R-X, indican un contenido en minerales de la arcilla en torno al 80%. De este 80% una de las muestras presenta el 40% de paligorskita y 40% de esmectitas, la otra sólo contiene esmectitas e ilita.

- **Sondeo Osuna-1:**

Se ha efectuado en la cuenca Marchena-Osuna y está ubicado en el ángulo Nordoccidental de la Hoja 1005 (Osuna). Este sondeo se proyectó su ejecución en base a los resultados analíticos de un afloramiento de arcillas paligorskíticas, solapadas por calizas y costras calcáreas lacustres. La difracción de R-X realizada sobre dichas arcillas, ha dado unos porcentajes semicuantitativos de paligorskita de más del 20% del total de la muestra, el 20% de esmectitas y el resto corresponde a calcita, un 58%, y a cuarzo en cantidades inferiores al 5%.

Las espectativas, por tanto, eran buenas a juzgar por la analítica resultante, si se comparan estos valores con los establecidos para otras cuencas

lacustres y concretamente la de Los Tollos, actualmente en explotación.

En la figura 19 se muestra la columna estratigráfica representativa del sondeo, realizado hasta 22 m de profundidad. En este punto la cuenca lacustre tiene 7,45 m de espesor, con 1 m aproximadamente de arenas en la base. El resto son arcillas margosas, margocalizas y calizas y costras calcáreas a techo.

En general el episodio lacustre franco tiene abundantes nódulos carbonatados, por esta razón los contenidos en calcita llegan a alcanzar el 45% del total de la muestra, el 44% pertenece a minerales de la arcilla y el 11% a cuarzo. Los filosilicatos que aparecen, quedan representados difusamente en un pico amplio, y muy indentado del difractograma que sugiere abundancia de minerales de la arcilla laminares (interestratificados), por lo tanto es difícil poder deducir el tipo de mineral o minerales existentes.

Desde 7,45 m a 22 m se han cortado en su mayor parte unas arcillas verdes satinadas, que cuando están secas son extremadamente absorventes. Dichas arcillas presentan casi siempre más del 80% de filosilicatos, llegando incluso a tener el 90%. De estos, una pequeña

11237003

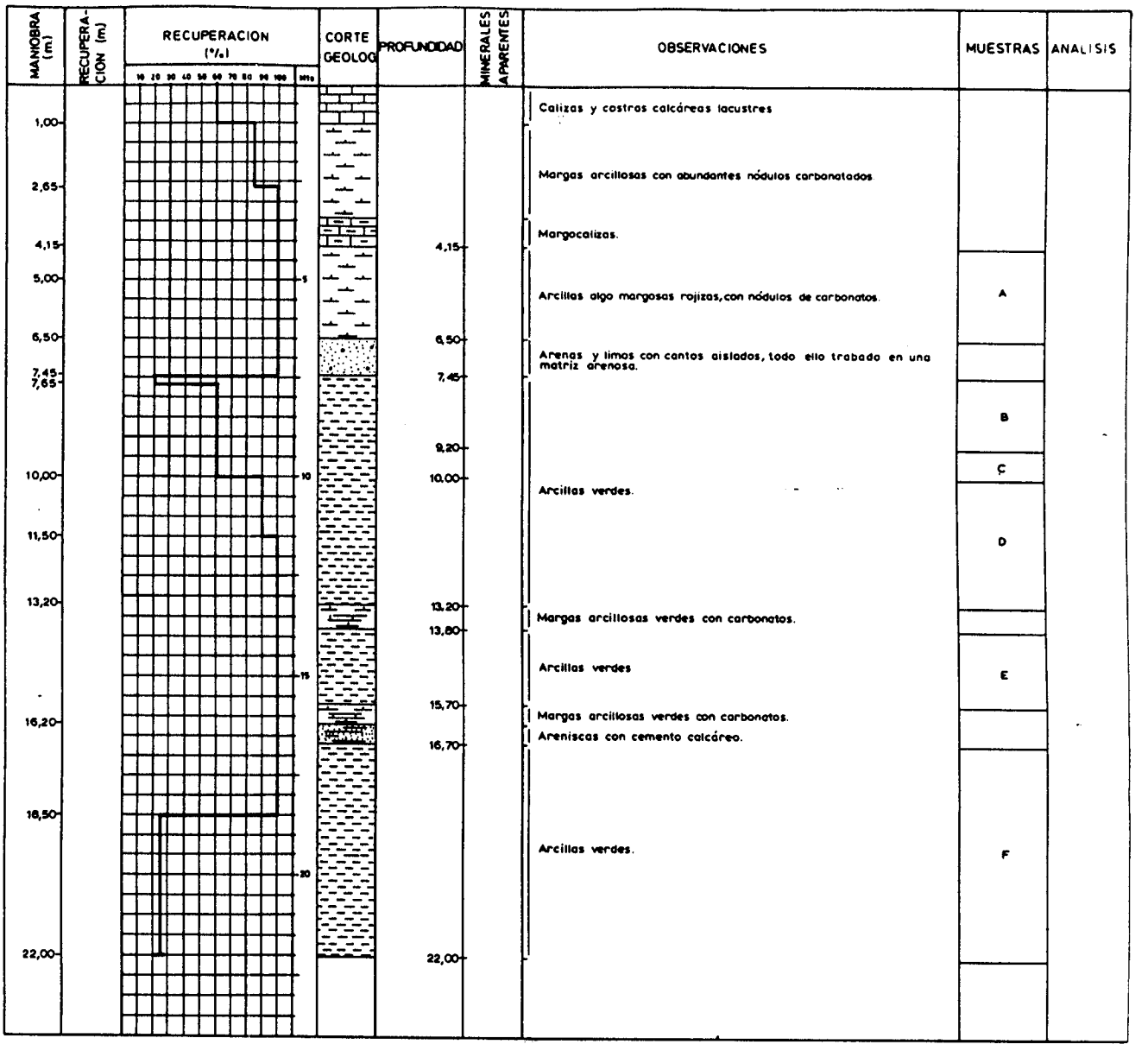


Fig.-19 SONDEO OSUNA 1. CUENCA MARCHENA-OSUNA

parte es paligorskita (hasta el 20%) y el resto son esmectitas; escasamente aparece ilita y la clorita/caolinita tiene valores oscilantes entre el 6 y el 24% de esos filosilicatos.

- **Sondeo Osuna-2**

Su realización, al igual que el sondeo Osuna-1, se ha justificado de acuerdo con los datos de superficie tanto de visu como analíticos. Así pues, los datos de R-X obtenidos indicaban porcentajes en paligorskita superiores al 15% del total de la roca, si bien los contenidos en cuarzo y calcita superan el 50%; el resto corresponde a ilita y clorita/caolinita.

En la figura 20 se muestra la columna correspondiente de 13,10 m de espesor. En este caso y para este sector de la cuenca lacustre, la potencia de la misma alcanza 10,40 m de espesor, con un paquete basal de 3,5 m de arenas. El resto de materiales (de 0 a 7 m) corresponden a margas y arcillas con abundantes nódulos carbonatados. La mineralogía global (muestras A y B) indica un porcentaje del orden del 80% repartido a partes iguales entre filosilicatos y calcita.

De la cota 10,40 m a 13,10 m (final del sondeo) son arcillas verdes, pertenecientes probablemen-

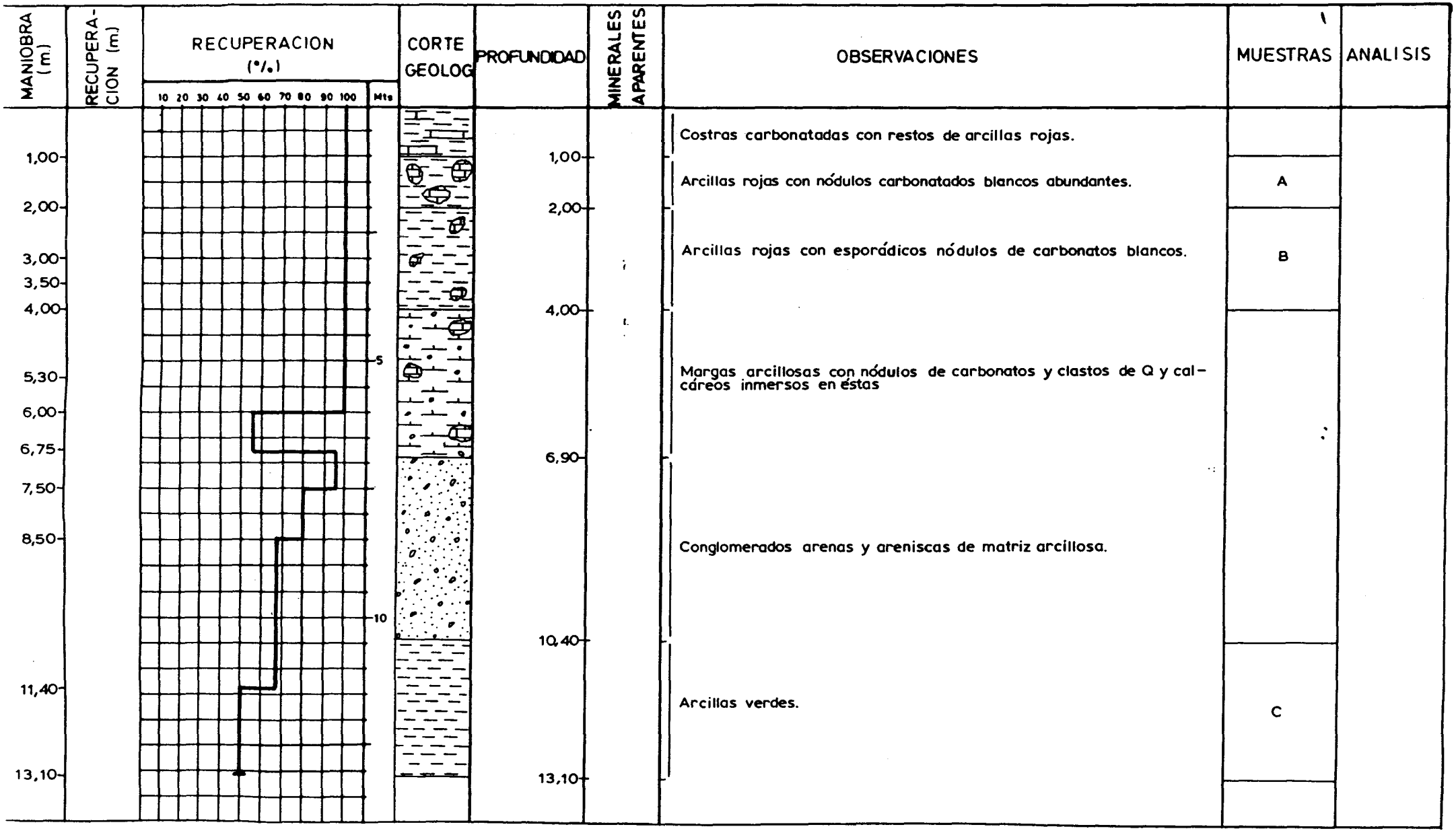


Fig-20 SONDEO OSUNA 2. CUENCA MARCHENA-OSUNA

11237004

te a la Unidad Olistostrómica. La mineralogía de arcillas obtenida por difracción de R-X indica unos valores del 74% de filosilicatos, 10% de calcita y 16% de cuarzo (muestra C del sondeo). Del 74% de los filosilicatos el 62% son esmectitas, y el 24% ilita y el 14% clorita/caolinita. No se aprecian indicios de paligorskita, si bien los picos de los filosilicatos no son nítidos por la continua presencia de interestratificados.

Ambos sondeos han sido efectuados con una sonda marca LONGYEAR-38 que ha proporcionado unos excelentes resultados, obteniéndose recuperaciones totales de casi el 100 por 100.

Si se comparan las columnas de los sondeos Osuna-1 y Osuna-2, puede afirmarse que hay una buena equivalencia de facies. También la analítica es similar. Si se tiene en cuenta que la distancia entre ambos es de 8 km, puede deducirse la entidad de la cuenca lacustre. La potencia de dicha cuenca es reducida, al menos en los sectores investigados (no sobrepasa los 11 m), pero la extensión cartográfica observable supera los 200 km^2).

Además la zona manifiesta doble interés puesto que no sólo los materiales lacustres evidencian indicios de paligorskita, sino también los infrayacentes, con lo

cual se potencia aún más el sector, desde el punto de vista de una investigación futura.

A grandes rasgos los contenidos mineralógicos, tanto de las facies lacustres como de las que sirven de asiento a éllas (Unidad Olistostrómica) son similares. Sin embargo, hay variaciones puntuales importantes en el sentido de contenidos en paligorskita, que pueden variar desde el 20-30% sobre el total de la muestra a ser casi inexistentes. Este aspecto es de sumo interés y hay que controlarlo en el futuro, puesto que puede haber concentraciones anómalas de arcillas especiales en determinados sectores, donde las condiciones físico-químicas eran las más adecuadas para el depósito de las mismas. En este sentido cabe resaltar que, ante la evidente extensión cartográfica de estos depósitos y la investigación tan puntual llevada a cabo, pueden existir áreas preferenciales con contenidos en arcillas especiales muy importantes.

Por todo lo expuesto anteriormente se recomienda una investigación más detallada en la cuenca de Marchena-Osuna, así como las de Montellano, El Coronil y El Palmar de Troya.

3.4.4 Valoración de las arcillas especiales

Las arcillas del grupo de las paligorskitas (sepiolita y paligorskita) se caracterizan, desde el punto de vista industrial, por su elevada capacidad de absorción de líquidos. Una sepiolita de elevada pureza mineralógica, del tipo de las existentes en los yacimientos de la Cuenca del Tajo, es capaz de absorver del orden del 90% en peso de agua, y del 75% de aceites, sin perder su condición de gránulo seco. La paligorskita presenta un poder de absorción algo menor, pero tiene otras características físicas de interés industrial, como son el conferir una elevada tixotropía a los lodos fabricados con ellas.

En el sentido antes aludido cabe destacar que el material explotado en el yacimiento de los Tollos se destina básicamente a la fabricación de un producto absorvente y desodorizante: "Cat Litter". Se trata de un granular seco de dichas arcillas, que se utiliza como cama soporte para las defecaciones de animales domésticos. En menor proporción se comercializa también como soporte de insecticidas, pesticidas y abonos.

El procesado industrial del material consiste en el arranque y molienda primaria de las margas paligorskíticas y sepiolíticas (con una luz de molienda

de varios centímetros), y en un secado primario al aire libre. Durante este proceso se mezclan en las proporciones adecuadas los dos productos (paligorskita y sepiolita). Se procede a continuación a una molienda fina del material hasta el tamaño del granular de mercado (unos milímetros). Posteriormente se seca el producto en un trommer con circulación de aire caliente. De aquí se pasa a envasar el producto en bolsas de 5 a 25 kg, en las que es directamente consumido.

El producto se destina a los países de la Comunidad Europea, y tiene un precio al consumidor que oscila entre 50-100 R/kg. En fábrica el precio de venta es del orden de 10 R/kg, lo que implica unas excelentes perspectivas económicas, ya que se trata de un producto de 10.000 R/Tm., que da la ley en cantera (no precisa lavados ni concentraciones). Además se presenta en masas de gran extensión y homogeneidad (con la consiguiente facilidad de extracción), y que requiere de un procesado industrial relativamente sencillo.

Aparte de la posibilidad de fabricación de "Cat Litter", con las arcillas especiales de la Cuenca del Guadalquivir, se podrían fabricar cualquiera de los demás productos de mercado (previa caracterización tecnológica del material). Todos ellos son productos de alto precio (del orden del "Cat Litter"), que permiten

su venta en puntos de consumo alejados.

El yacimiento mínimo para la puesta en funcionamiento de una planta industrial, debe ser del orden de 1.000.000 de toneladas. Para ello se requeriría de un nivel estratigráfico de arcillas de composición "industrial" del orden de 1 km^2 de superficie y 2 m de potencia. Dadas las extensiones de las cuencas lacustres reconocidas (de varios km^2 a varios centenares de km^2), y la constatación de la presencia de ambos minerales (paligorskita y sepiolita), existen muy buenas perspectivas en cuanto a la posible existencia de un yacimiento de rentabilidad económica.

La comercialización de los productos no debe resultar problemática, ya que la demanda de los mismos es alta en el momento actual. Tanto en el caso del "Cat Litter", como en el de soportes, filtrantes y otros productos agroalimentarios.

4. CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

El haber abordado el estudio y análisis geológico-minero de toda la Depresión del Guadalquivir, supone una ayuda básica para el conocimiento geológico global de toda la Cuenca. Al mismo tiempo, en base a este conocimiento geológico se han podido interpretar adecuadamente las áreas favorables donde aparecen o pueden aparecer sustancias de interés económico.

Por lo tanto se ha considerado de vital importancia el estudio geológico llevado a cabo, pues de él se ha derivado la aparición de yacimientos en un conjunto de áreas que en el futuro pueden tener interés en el campo de la minería y la industria.

4.1 CONCLUSIONES GEOLOGICAS

A continuación se exponen resumidamente las conclusiones geológicas obtenidas de la realización del Proyecto:

- Se ha elaborado una síntesis geológica a escala 1:200.000 de toda la Depresión del Guadalquivir. Su diseño ha ido de acuerdo con la información geológica obtenida durante el transcurso del Proyecto, que difiere sustancialmente de la información geológica consultada (hojas del Plan MAGNA, tesis doctorales, tesinas, publicaciones, etc.).

- El trabajo geológico llevado a cabo en este Proyecto, ha permitido poner de manifiesto una concepción modernista sobre la evolución de la Cuenca del Guadalquivir. De acuerdo con este planteamiento se ha podido establecer la diferenciación de Unidades Geológicas, su desarrollo y su distribución a lo largo y ancho de toda la Cuenca. La consideración de estos aspectos ha resultado básica, para conseguir diferenciar, caracterizar y evaluar óptimamente, las áreas favorables de acumulación de sustancias de interés económico.

- Cada unidad geológica ha sido tratada y descrita en función de sus facies litológicas, morfología, espesor, edad, etc. En base a estas características se ha hecho una valoración individualizada sobre las posibles aplicaciones minero-industriales, no sólo de las sustancias que contempla el Proyecto (arcillas cerámicas, especiales, diatomitas y arenas silíceas), sino también de otras que no son objeto del mismo (áridos, sales, rocas ornamentales, etc.).

- De todos los aspectos anteriormente tratados, se ha obtenido un plano síntesis de áreas favorables con acumulación de las sustancias que han sido objeto del Proyecto. Sin la elaboración del mapa de síntesis geológica, este plano no hubiera podido realizarse en toda su verdadera dimensión.

4.2 CONCLUSIONES MINERO-INDUSTRIALES

Se abordarán individualmente de acuerdo con las sustancias estudiadas.

4.2.1 Conclusiones sobre arcillas cerámicas

- Existe, en toda la Cuenca del Guadalquivir,

una ingente cantidad de sedimentos arcillosos, válidos para la fabricación de elementos cerámicos de construcción (ladrillos en sentido amplio).

Los materiales aprovechables constituyen más del 60% de los sedimentos de relleno de la Cuenca.

- No hay una diferencia apreciable a nivel tecnológico e industrial, entre los afloramientos que son canterables y los que no lo son. En base a ello no existen áreas preferenciales de prospección, todas tienen interés.

Si sería recomendable realizar prospecciones a escala de cantera o zona industrial, para caracterizar tecnológicamente los diferentes horizontes estratigráficos, y realizar con ello mezclas en las mejores condiciones para el procesado industrial.

4.2.2 Conclusiones sobre arenas silíceas

- Existen grandes reservas de arenas silíceas en toda la Depresión del Guadalquivir, especialmente en su mitad occidental.

- El contenido mínimo en SiO_2 exigido en las plantas industriales es del 80%. El máximo

tolerable de contaminantes como Fe_2O_3 y Al_2O_3 es de 0,85% y 2,5% respectivamente. Los constituyentes considerados como contaminantes, pueden ser fácilmente lavados con procesos de deslamado y además separados en medios acuosos.

- Más de la mitad de las muestras tomadas en afloramientos de todas y cada una de las áreas consideradas como favorables, tienen contenidos superiores al 90% de SiO_2. En cuanto a los contenidos en hierro y alúmina existentes, no ofrecen problema su separación puesto que los tratamientos no presentan excesiva dificultad técnica y económica. Por lo tanto, la práctica totalidad de las arenas muestreadas son susceptibles de transformación en arenas silíceas industriales.

4.2.3 Conclusiones sobre diatomitas

- Se han identificado con detalle las unidades litológicas y dentro de éstas los horizontes estratigráficos donde aparecen las diatomitas, su entidad y distribución cartográfica.

- Se considera que las diatomitas con más del 80% en SiO_2, son bien cotizadas en el campo

industrial. Sin embargo las diatomitas de la Depresión del Guadalquivir que se han analizado, no superan el 60% en SiO_2 (contenidos comprendidos entre el 50-60%), por lo tanto a priori serían deshechables.

- No obstante, mediante tratamientos o procesados industriales adecuados, las diatomitas de esta Cuenca podrían ser utilizables en algunas de las muchas aplicaciones industriales que poseen.

4.2.4 Conclusiones sobre arcillas especiales

- Por vez primera en toda la Depresión del Guadalquivir se han puesto de manifiesto yacimientos de arcillas especiales ligadas a cuencas lacustres. Sólo se conocían los correspondientes a Lebrija (El Cuervo) y Jerez de la Frontera (Mesas de Asta). Al mismo tiempo se ha considerado a la mayoría de estos yacimientos, como áreas favorables susceptibles de ser investigadas.

- La analítica de R-X efectuada sobre muestras tomadas en varias de estas cuencas lacustres, es muy similar a la obtenida en otros puntos, donde este tipo de arcillas se están explotando. Por lo tanto se puede concluir que

hay arcillas con una mineralogía y contenidos en sepiolita y paligorskita, similar a las de El Cuervo (Lebrija), y que no pertenecen a esta cuenca lacustre.

- Las cuencas lacustres detectadas con una tipología de yacimiento similar a la de El Cuervo (Laguna de los Tollos), son las siguientes: Montellano, Palmar de Troya, El Coronil, Marchena-Osuna y Puente Genil.

- El precio por Tm que existe actualmente de estos productos, en base a sus grandes aplicaciones industriales y demanda, y el bajo costo económico que tiene la extracción de estas sustancias y su procesado, hacen que existan buenas perspectivas en cuanto a yacimientos de rentabilidad económica.

En resumen, se puede concluir que existen en toda la Depresión del Guadalquivir, grandes reservas de yacimientos en las sustancias investigadas, es decir arcillas cerámicas, arcillas especiales, arenas silíceas y diatomitas, si bien estas últimas no ofrecen buenas leyes para su comercialización a priori.

5. RECOMENDACIONES

5. RECOMENDACIONES

Ante las buenas espectativas levantadas sobre la existencia de importantes áreas, que pueden considerarse como yacimientos potenciales en las sustancias investigadas, es difícil marcar una pauta de trabajo a seguir, si no se tiene antes en cuenta el mercado actual de esas sustancias y las necesidades de las industrias que actualmente las explotan.

No obstante, para las arcillas especiales, arenas silíceas y diatomitas, sería conveniente definir con más detalle las dimensiones de sus yacimientos, donde habría que controlar desde un punto de vista geológico la aparición o desaparición de niveles guía

preferenciales. Dichos niveles habría que estudiarlos con detalle sedimentológicamente, al tiempo que una analítica adecuada (análisis químicos, tecnológicos, R-X, etc.), permitiría caracterizarlos de forma precisa.

Dado que las condiciones de afloramiento son bastante deficientes en casi toda la Cuenca sería preciso, ante esta eventualidad, que cualquier fase de trabajo a realizar contara con calicatas y/o sondeos mecánicos, para poder evaluar el potencial existente.

6. BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- BELZUNCE, M.J.; MENDIOROZ, J.A.: PAJARES, J.A. y PELAEZ, J.R. Diatomitas Españolas: Composición Química y Estructura.

- BOWLES, F.A.: ANGINO, A.: HOSTERMAN, V.: GALLE, O. (1.971). Precipitation of deep-sea paligorskite and sepiolite. Earth and Planetary Science Letters 11. 324-332. North-Holland. Publishing Company.

- BUSTILLO, M.A. (1.989). Las rocas silíceas como materia prima en la industria actual. Boletín Geológico Minero. Vol 100-6. 1102-1111.

- CALVO SORANDO, J.P. (1.981). Los yacimientos de diatomita en España. Vol. Geol. Min. de España. T. XCII-

IV. 274-284.

- CASAS, J: BALLESTEROS, C.: ALVAREZ, A.: SASTRE, J.L. (1.987). Characterization of the palygorskite-sepiolite deposit of El Cuervo. The Sixth Meeting of the European Clay Groups. Seville-Spain. Sociedad Española de Arcillas.

- GALAN, E. and FERRERO, A. (1.982). Palygorskite-Sepiolite, clays of Lebrija, S Spain. Clay and Clay Mineral, vol. 30, nº 3, 191-199.

- GARCIA RAMOS, G.; GONZALEZ GARCIA, F.: PEREZ RODRIGUEZ, J.L.:

1. Yacimientos de las Vegas del Guadalquivir y Corbones. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vol. 3. nº 5 (1.964).
2. Yacimientos de la Campiña SE. B.S.E.C. Vol. 4, nº 1 (1.965).
3. Yacimientos terciarios en la márgen derecha del Guadalquivir SE. B.S.E.C. Vol. 5, nº 2 (1.966).
4. Yacimientos terciarios en la campiña de Córdoba B.S.E.C. Vol. 5, nº 3. 1.966.
5. Yacimientos de terrenos ígneos y sedimentos primarios de la Provincia de Huelva. Comarca de Sierra Morena y Andévalo B.S.E.C. vol. 5, nº 6. 1.967.
6. Yacimientos terciarios y cuaternarios de la

provincia de Huelva. Comarca de Huelva y El Condado. vol. 6. nº 2. 1.967.

7. a) Yacimientos terciarios de la Provincia de Córdoba (conclusión).

   b) Yacimientos terciarios y cuaternarios de las márgenes del Guadalquivir (Co). B.S.E.C. vol. 8, nº 1. 1.961.

8. Yacimientos terciarios de La Campiña y costa occidental de la provincia de Cádiz. B.S.E.C. vol. 4, nº 5. 1.960.

9. Yacimientos terciarios de la región del Campo de Gibraltar (Cádiz). vol. 10, nº 5. 1.971.

- GARCIA RAMOS, G. et. al. 1.972. Studio físico-chímico e dilatomítrico di alcune arquille andaluza per cerámica. Cerámica Informacione, 7. 81-87.

- GARCIA RAMOS, G. y RODRIGUEZ MONTERO, R. 1.971. Arcillas cerámicas de Salvatierra de los Barros (Badajoz). Química e Industria 17.

- IGME (Informes internos):

1. Reconocimiento del potencial de Diatomitas de las provincias de Jaén y Almería (1.981).
2. Reconocimiento del potencial de Diatomitas y Albero de las provincias de Sevilla y Cádiz (1.981).
3. Investigación Geológica y Tecnológica de

Arcillas en Andalucía (1.982).

- IGME (1.971-1.989): Mapas y memorias explicativas de las Hojas a escala 1:50.000 números: 884, 886, 902, 903, 905, 906, 907, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 980. 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1033, 1034, 1035, 1047, 1048. Servicio Publicaciones Ministerio de Industria.

- IGME (1.974-1.976): Mapas de Rocas Industriales 1:200.000. Hojas de Huelva, Ayamonte, Puebla de Guzmán, Sevilla, Córdoba, Linares, Villacarrillo, Jaén, Baza, Morón de la Frontera, Servicio Public. Ministerio de Industria.

- LA MINERIA ANDALUZA. Junta de Andalucía (1.986). Consejería de Economía y Fomento.

- PLIEGO, D.; y BABIANO, F. (1.982). Las diatomitas en España. Tecniterrae, 46: 47-52.

- VARONA, V. (1.987): Las arenas silíceas. Simposio Rocas Ornamentales y Minerales Industriales. 173-177. IGME.

- VAZQUEZ GUZMAN, F. (1.987): The mining industry in Spain. IGME, 178 pp.

PLANOS

LEYENDA

UNIDADES AUTOCTONAS

UNIDADES CUATERNARIAS

- Aluviales y coluviales.
- Suelos.
- Derrubios o glacis.

UNIDAD DE EDAD VILLAFRANQUIENSE

- 19 Gravas, arenas y limos.

UNIDAD DE EDAD PLIOCENO SUPERIOR

- Arcillas, arcillas margosas y calizas.

UNIDAD DE EDAD PLIOCENO

- 18 Gravas, arenas y límos
- 17 Areniscas y arcillas
- 16 Arcillas.

UNIDAD DE EDAD MESSINIENSE SUP. - PLIOCENO INF.

- 15 Formación detrítica marina
- 14 Formación detrítica continental

UNIDAD DE EDAD MESSINIENSE

- 13 Arcillas
- 12 Areniscas, arenas y arcillas.
- 11 Gravas y arenas
- 10 Calcarenitas y arenas.
- 9 Arenas, gravas y limos arcillosos rojos.

UNIDAD DE EDAD TORTONIENSE

- 8 Areniscas, arenas, limos y arcillas
- 7 Arcillas, margas, localmente diatomitas
- 6 Calizas de algas calcarenitas y areniscas calcáreas bioclásticas.

UNIDADES ALOCTONAS

UNIDAD DE CASTRO DEL RIO

- 5 Margas blancas
- 4 a) Arenas silíceas y margas. a) areniscas.
- 3 Calcarenitas y/o calizas de algas
- 2 Margas blancas y areniscas calcáreas.
- 1 UNIDAD OLISTOSTROMICA
  - a) Olistolitos triásicos.
  - b) Olistolitos jurásicos.
  - c) Olistolitos cretácicos.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

PROYECTO					CLAVE
ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LAS ARCILLAS DEL NEOGENO DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR.					
SINTESIS GEOLOGICA A E. 1:200.000 DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR.					PLANO N.º 1
DIBUJADO	FECHA	COMPROBADO	AUTOR	ESCALA	CONSULTOR
F. J. MARTINEZ	MARZO-90		F. J. ROLDAN	1:200.000	INGEMISA

LEYENDA

- Areas seleccionadas como favorables para la acumulación de arcillas especiales
- Areas seleccionadas como favorables para la acumulación de diatomitas
- Areas seleccionadas como favorables para la acumulación de arenas silíceas
- Areas seleccionadas como favorables para la acumulación de arcillas cerámicas

- • Muestra
- o Fotografia
- Columna
- Cantera activa, inactiva

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

PROYECTO					CLAVE
ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LAS ARCILLAS DEL NEOGENO DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR					
PLANO DE SITUACION DE MUESTRAS, COLUMNAS, CANTERAS Y FOTOS					PLANO N.º 2
DIBUJADO F. J. MARTINEZ	FECHA MARZO – 90	COMPROBADO F. J. ROLDAN A. JORQUERA	AUTOR	ESCALA 1: 200.000	CONSULTOR INGEMISA